

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Optimalizace výroby demineralizované vody

Optimization of Demineralised Water Production

Student:

Bc. Jan Stachovec

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.

Ostrava 2019

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Jan Stachovec

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2302T006 Energetické stroje a zařízení

Téma:

Optimalizace výroby demineralizované vody
Optimization of Demineralised Water Production

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Oblast použití demineralizované vody a možnosti její přípravy v závislosti na požadované kvalitě.
- 2) Popis současného stavu přípravy a dodávky demineralizované vody do technologické sítě.
- 3) Zpracování návrhu pro přípravu zvýšeného množství demineralizované vody.
- 4) Vytvoření dokumentace nové potrubní trasy zahrnující její hydraulický výpočet.
- 5) Volba potřebného množství a typu čerpadel, včetně vyjádření energetické náročnosti jejich provozu.
- 6) Vyhodnocení investičních nákladů nutných pro realizaci navržené varianty.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HÜBNER, P.: Úprava vody v energetice, Praha 2010, 290 s. ISBN 978-80-7080-746-0.
- [2] KYSELA, L., TOMČALA, J.: Vodní hospodářství v energetice, Ostrava 2000, 98 s. ISBN 80-7078-752.
- [3] KUČEROVÁ, R., FEČKO, P., LYČKOVÁ, B.: Úprava a čištění vody, Ostrava 2011, 108s. ISBN 978-80-248-2389-8.
- [4] DRÁBKOVÁ S.: Mechanika tekutin. Skripta VŠB 2007, ISBN 978-80-248-15508-4.
- [5] NOVÝ R.: Technika prostředí. Skripta ČVUT 2006, ISBN 80-01-03492-5.
- [6] Normy, firemní podklady, internetové zdroje apod.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019


doc. Ing. Stanislav Hořus, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne.....17.5.2019.....

.....Jan Šlachovec.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 17.5.2019

Jan Stachovec

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jan Stachovec

Adresa trvalého pobytu autora práce:

M.Chasáka 3148, 738 01 Frýdek – Místek

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Tomáši Výtiskovi, Ph.D. za hodnotné informace, konzultace a připomínky, které mě inspirovaly k vypracování této diplomové práce.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

STACHOVEC, J. *Optimalizace výroby demineralizované vody: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2019, 54 s. Vedoucí práce: Ing. Výtisk T., Ph.D.

Diplomová práce se zabývá optimalizací výroby demineralizované vody. Nejprve práce seznamuje, jaké se používají metody pro úpravu vody. Následně je popsán způsob úpravy surové vody říční na demineralizovanou vodu ve firmě Energoaqua, a.s.. Práce je dále rozdělena do dvou částí, které se zabývají optimalizací výroby demineralizované vody. První část je zaměřena na dopravu vody z úpravny do demineralizační stanice s návrhem nové potrubní trasy a volbou vhodného čerpadla. V druhé části je navržena nová autonomní linka pro navýšení produkce demineralizované vody. Tyto návrhy na optimalizaci jsou následně investičně vyhodnoceny. V závěru je shrnuto, zda je optimalizace výroby demineralizované vody přínosná pro firmu.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

STACHOVEC, J. *Optimization of Demineralised Water Production: Master's thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2019, 54 p. Thesis head: Ing. Výtisk T., Ph.D.

This master thesis deals with optimization of demineralized water production. At First the thesis introduces the methods used for water treatment. Subsequently, the method of treating raw river water to demineralized water in Energoaqua, a.s. The thesis is further divided into two parts, which deal with optimization of demineralized water production. The first part is focused on the transport of water from the treatment plant to the demineralization station with the proposal of a new pipeline route and the choice of a suitable pump. In the second part, a new autonomous line for demineralized water production is proposed. These optimization proposals are subsequently evaluated in an investment manner. The conclusion summarizes whether the proposed optimization of demineralized water production is beneficial for the company.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	10
1 Úvod.....	11
2 Předúprava vody	12
2.1 Filtrace zrnitým ložem	12
2.1.1 Koagulační filtrace (kontaktní číření)	13
2.1.2 In Line filtrace	14
2.2 Číření	14
2.2.1 Filtrace čířené vody	14
3 Ionexové demineralizace	15
3.1 Koncepce ionexové úpravy	15
3.2 Směsné lože (MIXBED).....	16
4 Membránové procesy	17
4.1 Reverzní osmóza	17
4.1.1 Princip reverzní osmózy	17
4.1.2 Předúprava vody pro reverzní osmózu	18
4.1.3 Průtok permeátu a výtěžnost	18
4.2 Elektrodeionizace	18
5 Úpravna vody a její technologické procesy	20
5.1 Schéma úpravy vody o výkonu $120 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$	20
5.2 Odběrný objekt	20
5.3 Objekt hrubého předčištění.....	21
5.4 Dělicí jímka	21
5.5 Objekt jemného předčištění	21
5.6 Jímka surové vody	21
5.7 Směšovací nádrž	21
5.8 Dávkování chemikálií.....	22
5.9 Nádrž rychlého mísení.....	22

5.10	Pomalé mísení (flokulace)	22
5.11	Usazování (sedimentace)	22
5.12	Filtrace	22
5.13	Vodojem čisté vody	23
5.14	Čerpací stanice upravené vody	23
5.15	Chlorace – dávkování Cl_2	23
5.16	Vodojemy Koryčanské Paseky	23
5.17	Kalové hospodářství a likvidace odpadních vod	23
6	Demineralizační stanice a její technologické procesy	24
6.1	Schéma demineralizační stanice o výkonu $3 \times 55 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	24
6.2	In Line koagulační filtrace (FM1 – FM8)	24
6.3	Reversní osmóza (RO) – předúprava.....	25
6.3.1	Dávkování HCl	25
6.3.2	Dávkování PT191 (Permatreat 191 - antiscaling)	25
6.3.3	Reversní osmóza – předfiltrace	25
6.3.4	Dávkování NaHSO_3	25
6.3.5	Reversní osmóza – vysokotlaká čerpadla	25
6.4	Reversní osmóza (RO).....	26
6.4.1	UV reaktor 254nm	26
6.4.2	Elektrodeionizace (EDI)	26
6.4.3	Sběrná nádrž koncentrátu	27
6.5	Akumulační zásobníky permeátu $4 \times 60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	27
6.6	Dočištění vyrobené vody	27
6.6.1	UV reaktor 185nm	27
6.6.2	MIXBEDY	27
6.6.3	UV reaktor 254nm, Mikrofiltr $0,45 \mu\text{m}$	28
6.7	Dodávka demineralizované vody do technologické sítě	28

6.7.1	Cirkulační okruh východ	28
6.7.2	Cirkulační okruh západ.....	28
6.7.3	Cirkulační okruh M1	28
6.8	Kvalitativní parametry demineralizované vody	29
7	Zpracování návrhu pro přípravu zvýšeného množství	30
8	Nová potrubní trasa	32
8.1	Hydraulický výpočet [4]	32
8.1.1	Třecí ztráty v potrubí [4]	33
8.1.2	Místní odpory [4].....	36
8.1.3	Charakteristika potrubí [4].....	37
9	Volba čerpadla.....	40
9.1	Energetické charakteristiky	41
9.1.1	Tlaková charakteristika.....	43
9.1.2	Účinnostní charakteristika	44
9.2	Provozní bod čerpadla	45
10	Vyhodnocení investičních nákladů	46
10.1	Nová potrubní trasa	46
10.2	Rozšíření demineralizační stanice	47
11	Závěr.....	50
	Seznam použité literatury	52
	Seznam obrázků, tabulek, grafů a příloh	53

Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Název veličiny	Jednotka
Q	Objemový průtok v potrubí	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
H	Dopravní výška	$[\text{m}]$
L	Délka potrubí	$[\text{m}]$
Re	Reynoldsovo číslo	$[-]$
Re_{krit}	Reynoldsovo číslo – kritická hodnota	$[-]$
S	Průřez potrubí	$[\text{m}^2]$
$Y_{\text{č}}, Y_{\text{p}}, Y_{\text{z}}$	Měrná energie	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$
d	Průměr potrubí	$[\text{m}]$
e_{z}	Měrná ztrátová energie	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$
g	Gravitační zrychlení	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$
h	Výška trubního mostu	$[\text{m}]$
h_{z}	Ztrátová výška v potrubí	$[\text{m}]$
k	Absolutní drsnost potrubí	$[-]$
p_1, p_2	Tlak v potrubí	$[\text{Pa}]$
p_{z}	Tlaková ztráta v potrubí	$[\text{Pa}]$
t	Teplota vody	$[\text{°C}]$
v	Rychlost v potrubí	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
v_{s}	Střední rychlost v potrubí	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
ρ	Hustota vody	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
Δp	Tlakový spád v potrubí	$[\text{Pa}]$
η	Dynamická viskozita vody	$[\text{Pa} \cdot \text{s}]$
$\eta_{\text{č}}$	Účinnost čerpadla	$[\%]$
λ	Součinitel tření v potrubí	$[-]$
ξ	Ztrátový součinitel v potrubí	$[-]$
ξ_{c}	Celkový ztrátový součinitel v potrubí	$[-]$
π	Matematická konstanta	$[-]$
ν	Kinematická viskozita vody	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$

1 Úvod

Technologie pro úpravu vody zaznamenala velký rozvoj, jak po stránce technologické, materiálové, způsobu provedení a automatizace. S rozvojem zařízení, používajících ke své činnosti upravenou vodu, se většinou zvyšují i požadavky na kvalitu a množství dodávané vody. Požadavky na kvalitu vody pro mikroelektroniku, farmacii a vysokotlaké energetické bloky se přibližují k hodnotám teoreticky čisté vody.

Firma Energoaqua, a.s. se zabývá výrobou, distribucí a prodejem energetických médií a služeb v oblasti elektrické energie, tepelné energie, technických plynů a vodního hospodářství. Vodní hospodářství zajišťuje výrobu pitné a průmyslové vody, výrobu chladicí vody pro chlazení technologických zařízení, výrobu a rozvod demineralizované vody o vysoké čistotě.

Cílem diplomové práce je popis současné úpravy surové vody z řeky Rožnovské Bečvy na úpravně vod a přípravy demineralizované vody v demineralizační stanici s dodávkou do technologické sítě v bývalém průmyslovém areálu TESLA Rožnov pod Radhoštěm a dále zpracování návrhu pro přípravu zvýšeného množství demineralizované vody včetně návrhu nové potrubní trasy z úpravny vody do demineralizační stanice, který obsahuje hydraulický výpočet a volbu vhodného čerpadla. Součástí práce je také vytvoření výkresové dokumentace a vyhodnocení investičních nákladů pro realizaci navrženého řešení.

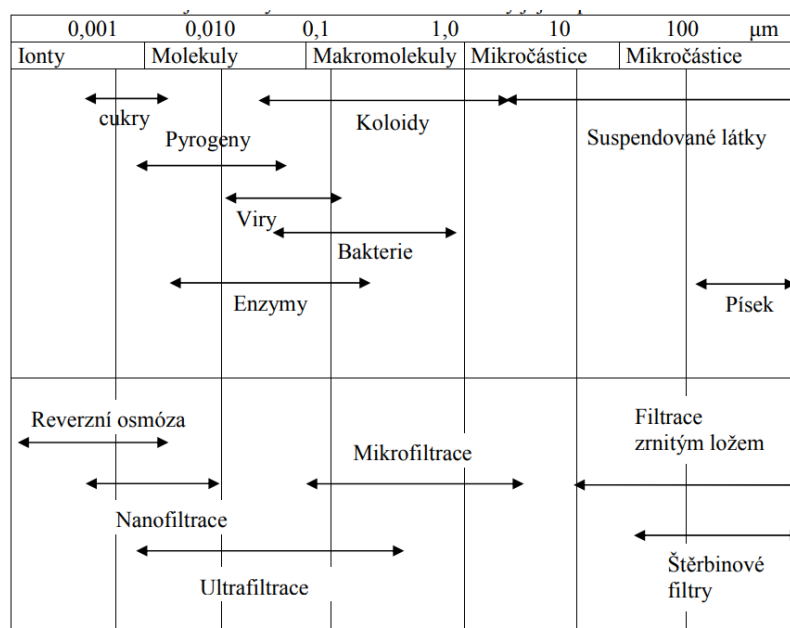
2 Předúprava vody [1]

Základním úkolem předúpravy surové vody před demineralizací je odstranění suspendovaných, koloidních, organických látek. Suspendované, koloidní, organické látky na rozdíl od iontů, které jsou definované jednoznačně nábojem a konstantní velikostí, mají jako charakteristické vlastnosti proměnlivou velikost i náboj.

Základním úkolem předúpravy surové vody před demineralizací je odstranění suspendovaných, koloidních, organických látek. Suspendované, koloidní, organické látky na rozdíl od iontů, které jsou definované jednoznačně nábojem a konstantní velikostí, mají jako charakteristické vlastnosti proměnlivou velikost i náboj.

Do první skupiny patří např. filtrace, ultrafiltrace nebo mikrofiltrace. V druhé skupině jsou nejčastějším představitelem metody kombinované s koagulací, které se nejčastěji používají při přípravě demineralizované vody z povrchových vod.

Samostatnou otázkou je, zda postačí ze surové vody odstranit organické látky pouhou filtrací nebo se musí zařadit další metoda čiření.

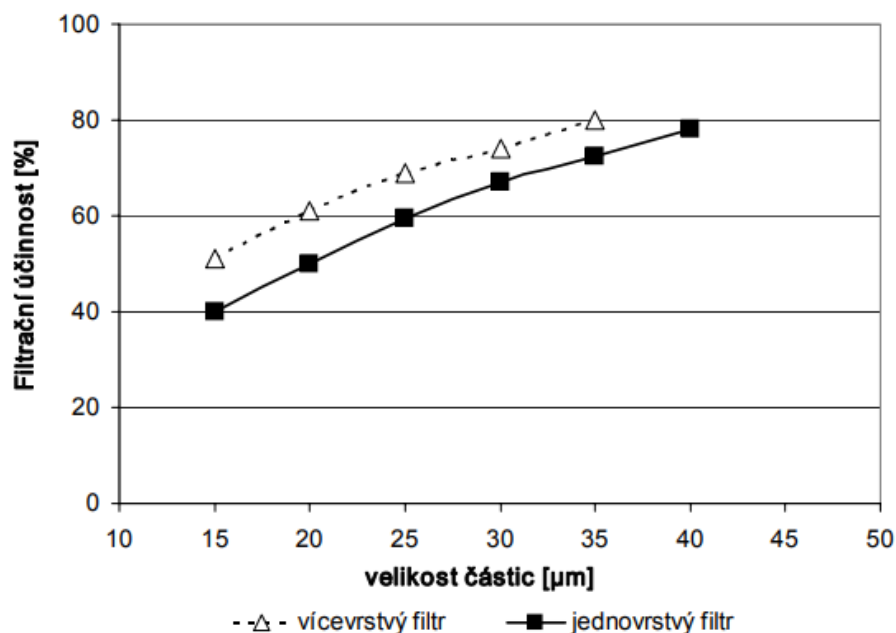


Obr. 1 Velikost jednotlivých částic ve vodě a metody jejich přímého odstraňování [7]

2.1 Filtrace zrnitým ložem [7]

Filtrační lože zachycuje suspendované látky větší než 20 μm. Záleží tedy na charakteru odstraňované suspenze a také jakou účinnost má filtrační stupeň.

Při prosté filtraci, kdy upravovaná voda nemá chemický stupeň, nebývá efekt odstranění zejména v počátku vysoký (cca 50 %). Při zafiltrovávání dochází ke tvorbě filtračního koláče, účinnost odstranění se zvyšuje až do okamžiku průniku.



Obr. 2 Velikost jednotlivých částic ve vodě a metody jejich přímého odstraňování [7]

Řazení stejných filtračních stupňů do série nepřináší markantní zvýšení účinnosti. Druhý stupeň se významněji uplatní při nedokonalé funkci nebo vyčerpání prvního stupně. Výhodnější je kombinace dvou filtrů s rozdílnou náplní, v prvním filtru hrubší a v druhém jemnější.

Kvalita upravené vody je kromě charakteru znečištění závislá na filtračním materiálu. Při menším efektivním rozměrem zrna je kvalita upravené vody lepší, ale zároveň klesá kalová kapacita lože. Rovněž tlaková ztráta stoupá se zmenšujícím rozměrem částic náplně.

2.1.1 Koagulační filtrace (kontaktní číření) [1]

Účelem předúpravy je odstranit nejen suspendované látky, ale i část organických látek a téměř všechny koloidní látky, které by mohly způsobit potíže při následující demineralizaci.

Při koagulační filtraci dochází k tvorbě vloček před filtračním ložem po průchodu flokulační komorou. Separace suspenze probíhá přímo ve filtračním loži. Z tohoto titulu koagulační filtrace je vhodná pro menší výkony a relativně čisté vody.

2.1.2 In Line filtrace [7]

Při In Line filtraci probíhá chemická reakce (destabilizace koloidů) přímo na povrchu zrn filtračního materiálu. K určitému zachycení koloidních částic dochází i tehdy, kdy tyto částice nejsou předem zkoagulované. Adsorbce koagulantu pak vytvoří elektrokinetickou vrstvu pro navázání mechanických částic k povrchu zrn.

2.2 Číření [6], [7]

Pokud se při úpravě vody s vyšším obsahem suspendovaných látek použije pouze filtrace, tak pracovní cykly jsou krátké a vlastní spotřeba vody je tedy značná. Proto se v těchto případech dává přednost číření v reaktoru, které je schopno odstranit suspendované látky ve značném rozmezí koncentrací, následované filtrací, která odstraňuje částice nezachycené sedimentací.

Číření se skládá z koagulace, při které dochází k eliminaci náboje částice a z flokulace, při které vznikají vločky o velikosti, která umožňuje jejich odstranění sedimentací. Doba sedimentace závisí na velikosti částice.

Ve skutečnosti je sedimentační rychlost částice dále ovlivňována tvarem částice, specifickou hmotností, jejich koncentrací, přítomností větších částic atd.

Na velikosti částic a jejich sedimentační rychlosti závisí potřebná doba zdržení v sedimentaci, která určuje velikost sedimentačních zařízení. Sedimentace je použitelná, pokud doba zdržení v reaktoru není větší než řádově desítky minut až hodiny. Pokud je tato doba vyšší, je třeba upravit flokulaci.

2.2.1 Filtrace čířené vody [6], [7]

Čířená voda obsahuje částice, které nebyly odstraněny sedimentací. Velikost částic v čířené vodě je mírně vyšší než v surové vodě. Koncentrace suspendovaných látek v čířené vodě je u běžných zařízení do max. $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. V lamelových čířicích jsou dosahovány koncentrace i pod $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a tvorba filtračního koláče je velmi pomalá.

Relativní účinnost filtrace je tedy nižší, avšak absolutní hodnoty obsahu suspendovaných látek v čířené filtrované vodě jsou velmi nízké. Naopak, při špatné kvalitě čířené vody spojené s únikem kalu, je účinnost filtrace vysoká.

Pro filtraci se používají standartní pískové filtry s jednosložkovou náplní nebo vícevrstvé náplně. Filtry se perou vodou a vzduchem nebo pouze vodou.

3 Ionexové demineralizace [1], [7]

Ionexová demineralizace slouží k zachycování rozpuštěných látek v ionizovaném stavu nesoucí kladný nebo záporný náboj. Koncepce demineralizace závisí na charakteru upravované vody. K demineralizaci patří vhodná předúprava tak, aby nedocházelo k zanášení ionexu.

Ionexy jsou určeny k zachycování rozpuštěných látek v ionizovaném stavu, nesoucích kladný nebo záporný náboj. Běžné anorganické ionty difundují do vnitřku ionexu, kde probíhá výměna za ionty v ionexu obsažené. Částice, jejichž velikost je větší než poloměr pórů ionexu, je třeba odstranit koagulací před vlastní demineralizací. Jedná se hlavně o látky koloidní, případně rozměrné organické molekuly. Organické látky se mohou značně lišit rozměrem molekuly a nábojem. Ionty menšího rozměru mohou volně difundovat do vnitřku částice. Tyto látky však musí být vratně vytěsněny. Pokud neprobíhá vratná desorpce organické látky, dochází k zanášení ionexu, snižuje se užitečná kapacita, zhoršuje se vymývání atd.

3.1 Koncepce ionexové úpravy [1], [7]

Vývoj v oblasti ionexů a jejich aplikací vedl ke klasické koncepci řazení jednotlivých stupňů v demineralizaci, ve které jako první člen je katexový stupeň a v tomto stupni, se všechny kationty vymění za ion H^+ , následovaný anexovým stupněm, kde dojde k odstranění vzniklých slabě i silně disociovaných kyselin včetně SiO_2 . Konečnou hodnotu kvality upravené vody zajišťuje většinou směsné lože ze silně kyselého katexu a silně bazického anexu (mixbed).

Katexový stupeň je tvořen ve většině případů pouze silně kyselým katexem, regenerovaným kyselinou (HCl , H_2SO_4). Kombinace slabě kyselého katexu se silně kyselým, přinášející snížení spotřeby regenerační kyseliny, je použitelná pouze při vyšším obsahu HCO_3^- iontů (nad 50 %) v upravované vodě. Vzhledem k tomu, že většinou je demineralizaci předřazená flokulace, a tedy upravovaná voda má nízký obsah HCO_3^- iontů, je použití karboxylového katexu poměrně výjimečné.

Obvykle se používá kombinace slabě a silně bazického anexu, buď v separátních nebo vrstvených ložích. Využívá se takto vysoké účinnosti slabě bazického anexu. Slabě bazický anex je možné regenerovat jakýmkoli alkalickým roztokem, tedy i odpadním regenerantem ze silně bazického anexu. Kromě toho, slabě bazický anex s makroporezním

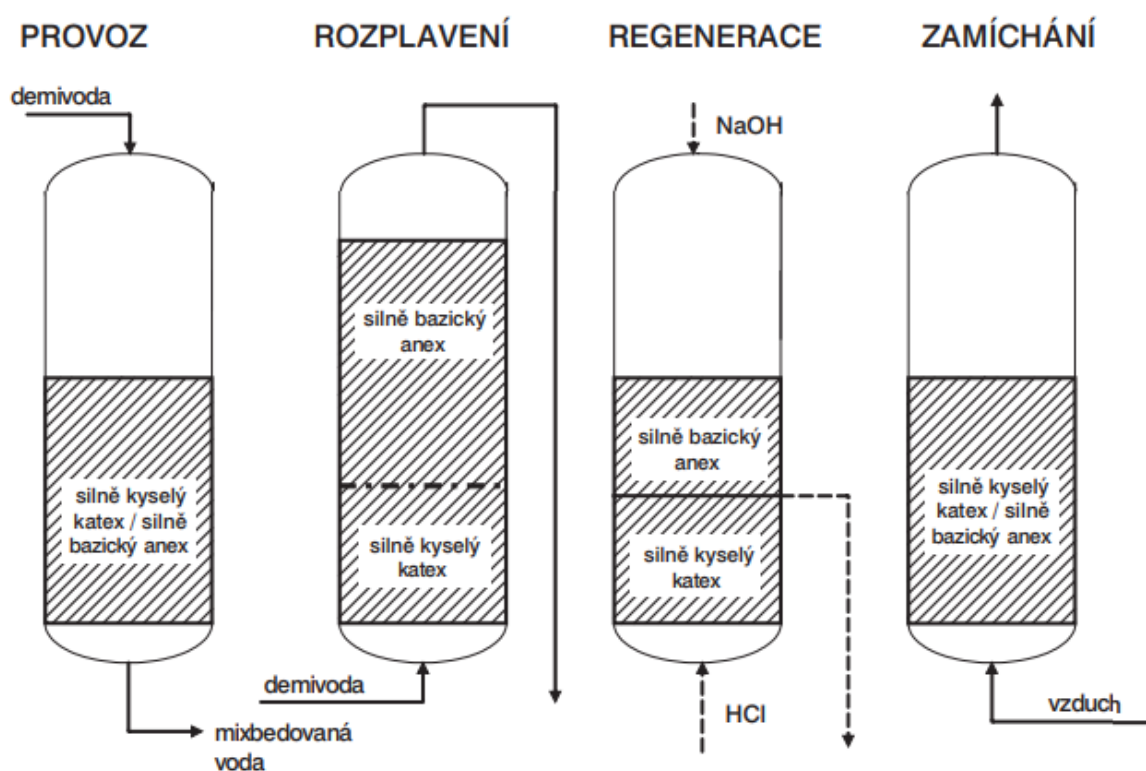
nebo akrylátovým skeletem vzhledem k vratné sorbci a desorbci organických látek slouží jako ochrana následujícího silně bazického anexu.

3.2 Směsné lože (MIXBED)

Ve většině případů kvalita upravené vody za demineralizační linkou nedosahuje trvale požadované úrovně a je nutno použít jako další stupeň směsné lože (mixbed) ze silně kyselého a silně bazického anexu. [7]

Směsné lože tvoří homogenní směs katexu a anexu. Náplň směsného lože tvoří teoretický nekonečný množství deionizačních párů, což umožňuje přípravu vody, jejíž kvalita, co se týče obsahu rozpuštěných látek se blíží k ultračisté vodě. [7]

Regenerace se provádí po rozložení lože do vrstev jednotlivých ionexů vzestupným průtokem vody. Horní vrstva (anex) se regeneruje NaOH shora dolů a spodní vrstva (katex) zespoda nahoru kyselinou. Po vytěsnění a vymytí se obě vrstvy zamíchají. Následuje závěrečné vymytí na požadovanou kvalitu demineralizované vody. [7]



Obr. 3 Regenerace Mixbedu [7]

4 Membránové procesy [6], [7]

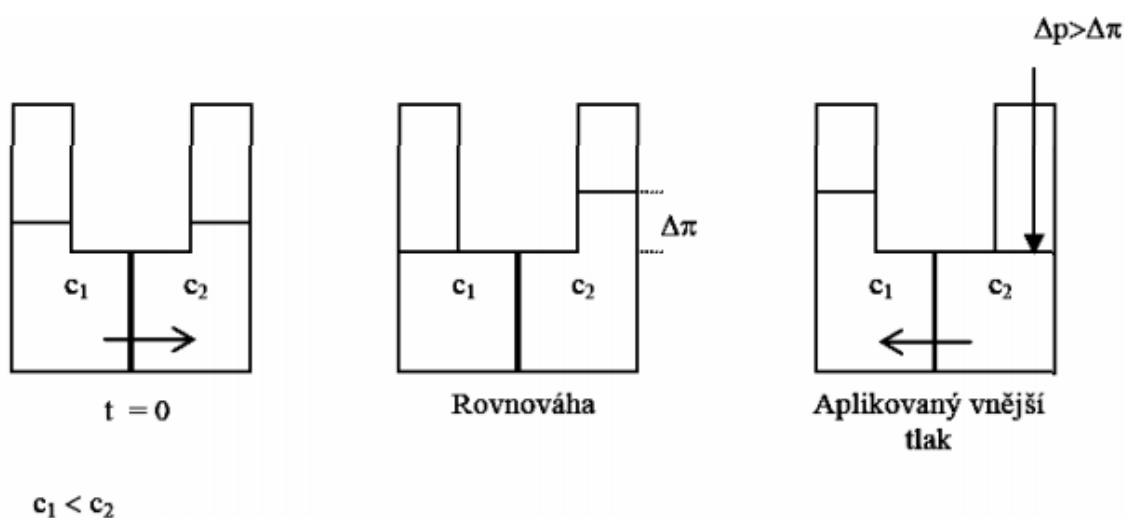
V oboru úpravy vody se stále více prosazují membránové procesy, zejména z důvodu minimalizace spotřeby chemikálií a vypouštění rozpuštěných látek v odpadních vodách. V předúpravě se objevují první zařízení s ultrafiltračními membránami, které nahrazují klasické metody čiření a filtrace.

4.1 Reverzní osmóza [6], [7]

V demineralizaci se uplatňuje zejména reverzní osmóza, která získala dominantní postavení obecně při úpravě vody s koncentrací solí nad $500 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, a při přípravě ultračisté vody pro mikroelektroniku, kde jsou požadovány minimální koncentrace organických a suspendovaných látek v jednotkách $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$.

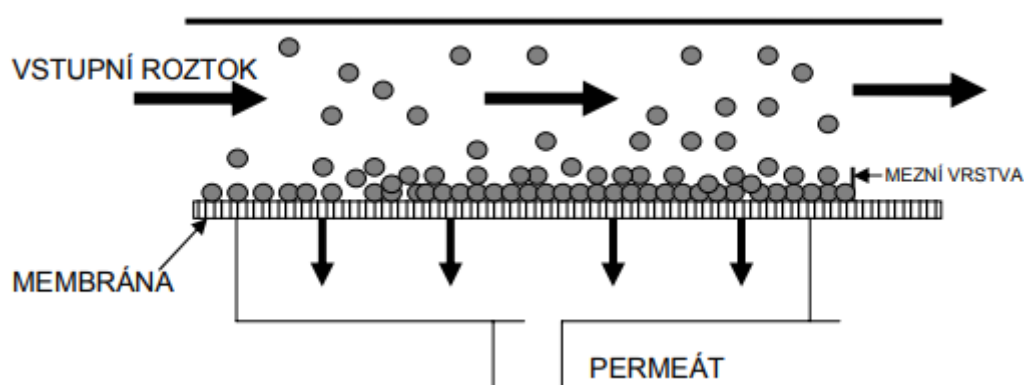
4.1.1 Princip reverzní osmózy [6], [7]

Oddělíme-li dva různě koncentrované roztoky polopropustnou membránou, propouštějící pouze vodu, začne přirozenou cestou proudit voda z prostředí s nižší koncentrací solí do prostředí koncentrovanějšího. Tento děj se nazývá osmóza. Po určité době dojde k ustavení rovnováhy, přičemž hladina v části s koncentrovanějším roztokem se ustálí výše. Rozdíl hladin odpovídá tzv. osmotickému tlaku, který je dán rozdílem koncentrací. Působíme-li na stranu upravované vody tlakem vyšším, než je tlak osmotický, dojde k obrácenému proudění vody, jedná se o reverzní osmózu a čistá voda protéká přes membránu, přičemž soli zůstávají na straně koncentrátu.



Obr. 4 Princip reverzní osmózy [7]

V praxi se používá řada konfigurací při realizaci reverzní osmózy. Nejčastěji používaný systém je cross-flow, při němž odsolovaná voda proudí podél membrány a rozpuštěné látky jsou unášeny proudem. Při použití tohoto systému nevzniká zkoncentrování u membrány. U moderních spirálně vinutých elementů RO jsou použity tzv. „spacery“, které mezi jednotlivými membránami zajišťují dostatečnou turbulenci, tak aby nedošlo k vzniku mrtvých koutů a k usazování nečistot v elementu.



Obr. 5 Princip spirálně vinutého modulu [7]

4.1.2 Předúprava vody pro reverzní osmózu [6], [7]

Součástí každé reverzní osmózy jsou jemné filtry, které zabezpečují ochranu před případným průnikem suspendovaných látek z předúpravy vody. Velikost pórů těchto jemných filtrů se pohybuje mezi 2 a 5 μm .

Připravit vodu vhodnou pro reverzní osmózu z povrchového zdroje znamená kombinovat čiření s filtrací tak, aby předupravená voda měla hodnoty tzv. koloidního indexu minimálně pod hodnotu 5.

4.1.3 Průtok permeátu a výtěžnost [6], [7]

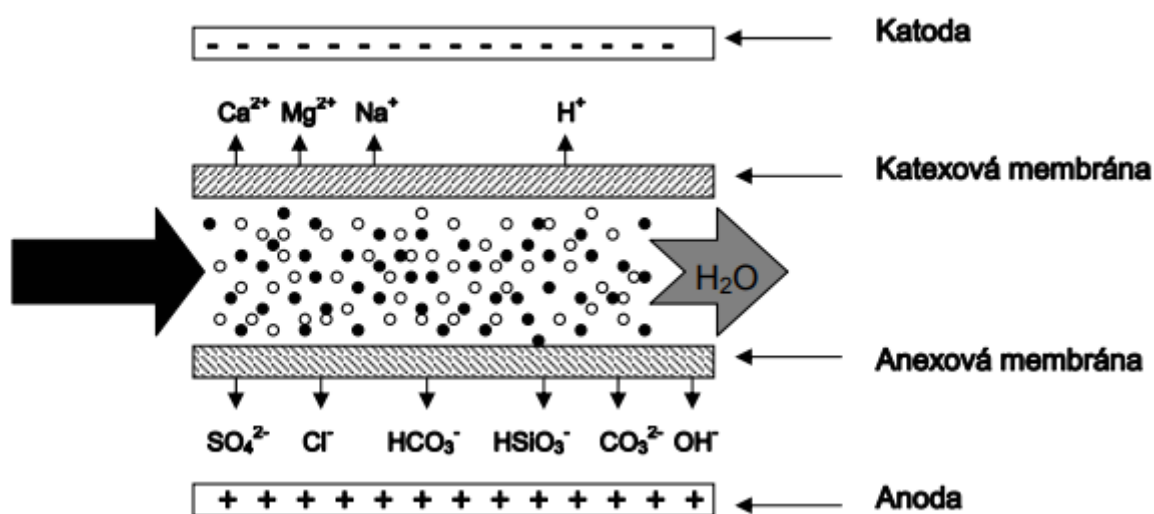
Reverzní osmóza je schopna zachytit více než 95 % rozpuštěných solí podle typu membrány. Obecně platí, že čím je větší množství odstranění solí, tím je menší výtěžnost permeátu z plochy membrány. Běžné membrány, používané při úpravě vody, odstraňují 96–98 % solí v širokém rozmezí koncentrací.

4.2 Elektrodeionizace [7]

Elektrodeionizace (EDI) je proces, kdy voda protéká prostorem mezi membránami v elektrickém poli, které působí pohyb kationtů ke katodě a aniontů k anodě. Dochází tedy ke snížení koncentrace solí v jednom prostoru a obohacení solí v druhém.

EDI používá mezi membránami směs katexu s anexem, které výrazně zrychlují pohyb iontů a umožňuje i odstranění solí z velmi zředěných roztoků. V mixbedu probíhá odstranění silně disociovaných iontů, v další části elektrolýza vody za vzniku OH^- a H^+ iontů, které mixbed regenerují. Vznik OH^- iontů znamená disociaci slabě disociovaných sloučenin, jako je CO_2 a SiO_2 , případně organických látek, naproti tomu vznik H^+ iontů podpoří disociaci např. NH_3 .

Výsledná konduktivita upravené vody se pohybuje obvykle pod $0,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Obsah CO_2 , SiO_2 a TOC se pohybuje v jednotkách $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$.

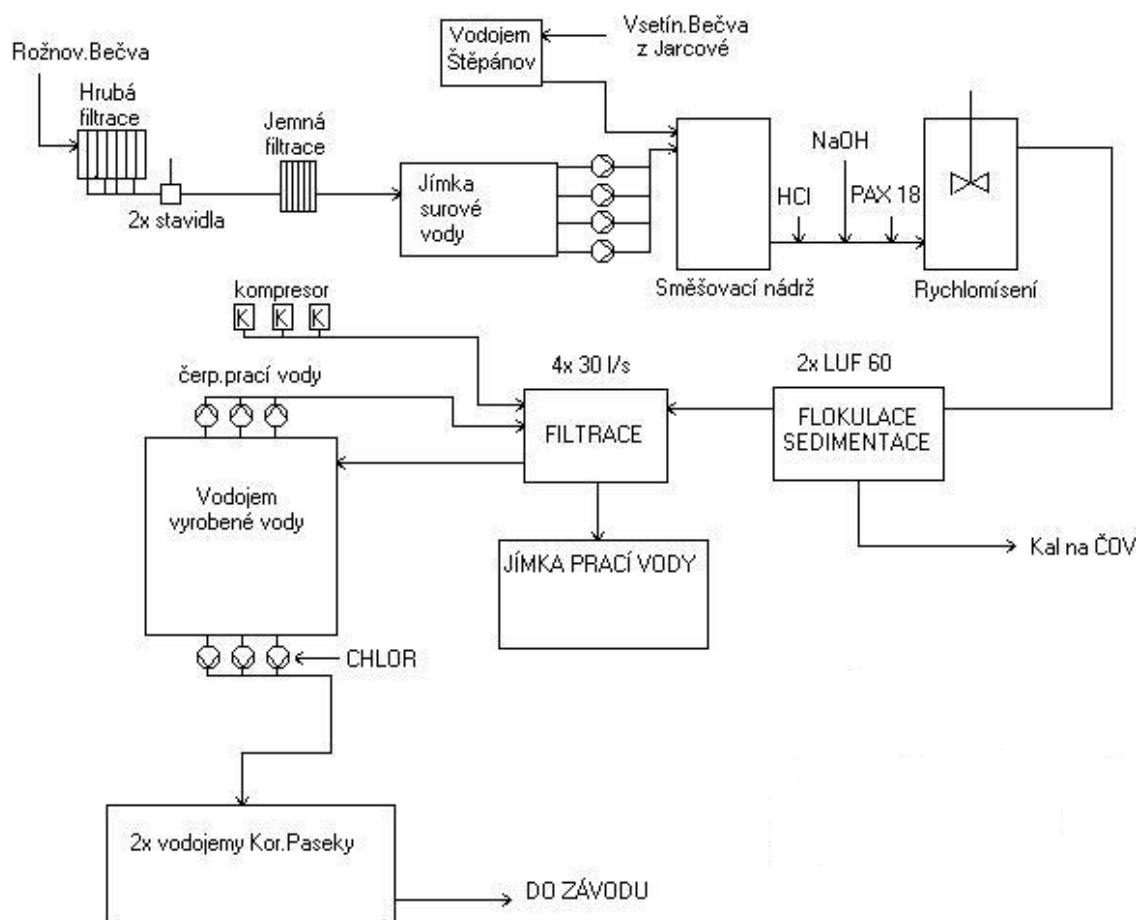


Obr. 6 Princip elektrideionizace [7]

5 Úprava vody a její technologické procesy

Stávající úprava vody v průmyslovém areálu TESLA Rožnov pod Radhoštěm zabezpečuje úpravu surové vody ze dvou zdrojů, a to z Rožnovské Bečvy a Vsetínské Bečvy. Současně zajišťuje přepravu kalů z procesů úpravy na čistírnu odpadních vod v areálu. Úprava vody je vybudována na kapacitu $120 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.

5.1 Schéma úpravy vody o výkonu $120 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$



Obr. 7 Schéma úpravy vody o výkonu $120 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$

5.2 Odběrný objekt

Surová voda je odebírána z Rožnovské Bečvy v místě náhonu, který odbočuje od Zuberského jezu. Odebíraná voda protéká hrubými česlemi o šířce průlin 5 cm. Odběrný objekt je osazen dvěma tabulovými stavidly s elektromotorovým pohonem, který slouží k regulaci průtoku vody do náhonu.

5.3 Objekt hrubého předčištění

Voda je dále vedena otevřeným přivaděčem k objektu hrubého předčištění. Přivaděč je v tomto místě rozšířen a prohlouben a slouží jako sedimentační jímka k usazování hrubých nečistot sunutých po dně. Plovoucí nečistoty jsou zachycovány hrubými česlemi o šířce průlin 4 cm.

5.4 Dělicí jímka

Voda teče dále zatrubněním kanálem do dělicí jímky. Jímka je na vstupu i výstupu opatřena dvěma páry vodárenských šoupátek, které jsou ovládána ručně. Z jímky vede odbočka na úpravnu vody. Regulace průtoku je prováděna šoupátkem.

5.5 Objekt jemného předčištění

Je tvořen dvěma jímkami. V každé jímkce jsou osazeny jemné česle o šířce průlin 1 cm sloužící pro zachycení plovoucích nečistot. Zanesené česle jsou čištěny ručně hráběmi. K odsazení abrazivních nečistot slouží lapáky písku. Čištění jednotlivých sekcí se provádí ručně po vyčerpání vody při uzavřeném vstupním a výstupním šoupěti.

5.6 Jímka surové vody

Předčištěná voda je přiváděna do jímky surové vody o objemu 60 m³. Přitékající množství je možno regulovat ručním ovládáním. Součástí jímky surové vody je čerpací stanice. Sání čerpadel je zavodňováno automaticky evakuační stanicí. Čerpadla jsou horizontální, typu 200 NVA – 400. Dopravní výška 100 J·kg⁻¹, dopravní množství 62 l·s⁻¹. Chod čerpadel je blokován min. hladinou sání, max. hladinou upravené vody, max. hladinou v lamelových usazovacích, poruchou evakuace a uzavřenou polohou klapky. Průtok je měřen indukčním průtokoměrem.

5.7 Směšovací nádrž

V homogenizační nádrži se mísí surová voda přitékající z Rožnovské Bečvy příp. voda ze Vsetínské Bečvy. Průtok ze Vsetínské Bečvy je regulovatelný motýlkovým uzávěrem a je měřen průtokoměrem. Homogenizační nádrž má objem 30,9 m³. Doba zdržení při výkonu úpravny 120 l·s⁻¹ je 4,3 min.

5.8 Dávkování chemikálií

Dávkování chemikálií je před nádrží rychlého mísení. Pro úpravu pH se dávkuje cca 2 % H_2SO_4 popř. cca 2% NaOH. Pro samotnou úpravu vody se dávkuje koagulant PAX 18. Příprava chemikálií se provádí v objektu chemie odkud se přivádí dávkovacími čerpadly PROMINENT regulovaných ručně v předem určených dávkách.

5.9 Nádrž rychlého mísení

Z homogenizační nádrže se voda vede do nádrže rychlého mísení. Do potrubí je připojeno dávkování koagulantu PAX 18. Nádrž rychlého mísení má objem 15,3 m³ a je opatřena vertikálním rychloběžným míchadlem, které zabezpečuje dostatečný vnos energie pro úspěšný průběh perikinetické fáze koagulace. K rovnoměrnému rozdělení odtékající vody na lamelové úpravníky slouží dva rozdělovací přelivy. Doba zdržení při výkonu úpravy vody $1 \cdot \text{s}^{-1}$ je 2,2 min.

5.10 Pomalé mísení (flokulace)

Voda je přiváděna do flokulačního prostoru lamelového úpravníku děrovaným potrubím. Tento prostor je vybaven pomaloběžným pádlovým míchadlem, poháněným pneumatickými písty. Rychlost pádlového míchadla je možno regulovat jehlovým ventilem. Pádle jsou opatřena otvory pro zvýšení účinnosti flokulace.

5.11 Usazování (sedimentace)

Z flokulačního prostoru odtéká voda štěrbínovým rozváděčem s deflektory do vnitřní kalové komory. Do vnější kalové komory je voda vedena z flokulačního prostoru kanálem ukončeným hubicí. V těchto kalových komorách se vytváří kalový mrak, který se udržuje vlivem vertikálního proudění ve vznosu pod lamelovou vestavbou. Čistá voda nad kalovým mrakem prostupuje lamelovou vestavbou a přepadá do sběrných žlabů čisté vody, odkud se odvádí na filtraci. V horní části LUF je umístěn sekundární odtah vody, který je zaústěn do sběrného žlabu čisté vody.

5.12 Filtrace

Odsazená voda je filtrovaná na čtyřech pískových rychlofiltrech, výška filtrační náplně je 1,3 m. Filtrační plocha jednoho filtru je 29,16 m². Veškeré uzávěry, čerpadla prací vody a dmýchadla pracího vzduchu jsou ovládány z pultů, umístěných vedle filtračních jednotek. Hladina filtrů a odtok čisté vody jsou ovládány odtokovým regulátorem. Filtry se

perou podle potřeby vodou a vzduchem. Pro praní filtrů jsou k dispozici tři horizontální čerpadla typu SIGMA 250 OVB, o dopravním množství $120 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, dopravní výšce $145 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$. Chod čerpadel je blokován a deblokován minimální hladinou sání, blokován poruchou evakuace. Dále jsou k dispozici 3 dmychadla pracího vzduchu. Náplň filtrů tvoří vodárenský písek o zrnění VP2.

5.13 Vodojem čisté vody

Voda upravená filtrací odtéká potrubím do vodojemu čisté vody o objemu 1900 m^3 . Vodojem je umístěn ve spodní části objektu ÚV pod LUFY a pískovými filtry.

5.14 Čerpací stanice upravené vody

Upravená voda je čerpána do vodojemů na Koryčanských Pasekách horizontálními čerpadly typu 150 CVE – 350, s dopravním množstvím $62,3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ a dopravní výškou $775 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$. Chod čerpadel je blokován min. hladinou sání, max. hladinou ve vodojemu nad závodem.

5.15 Chlorace – dávkování Cl_2

Do sání čerpadel je pomocí injektorů dávkován plynný Cl_2 přes rotační průtokoměr v takovém množství, aby u spotřebitele bylo zbytkové množství max. $0,3 \text{ mg Cl}_2\cdot\text{l}^{-1}$.

5.16 Vodojem Koryčanské Paseky

Nový vodojem má kubaturu $2 \times 1500 \text{ m}^3$ a je propojen prostřednictvím výtlačného i odběrného potrubí se stávajícím vodojemem o kubatuře $750 + 1500 \text{ m}^3$. Celková kapacita obou vodojemů je tedy 5.250 m^3 . Z vodojemu je veden gravitační přivaděč pro zásobování průmyslového areálu průmyslovou a pitnou vodou.

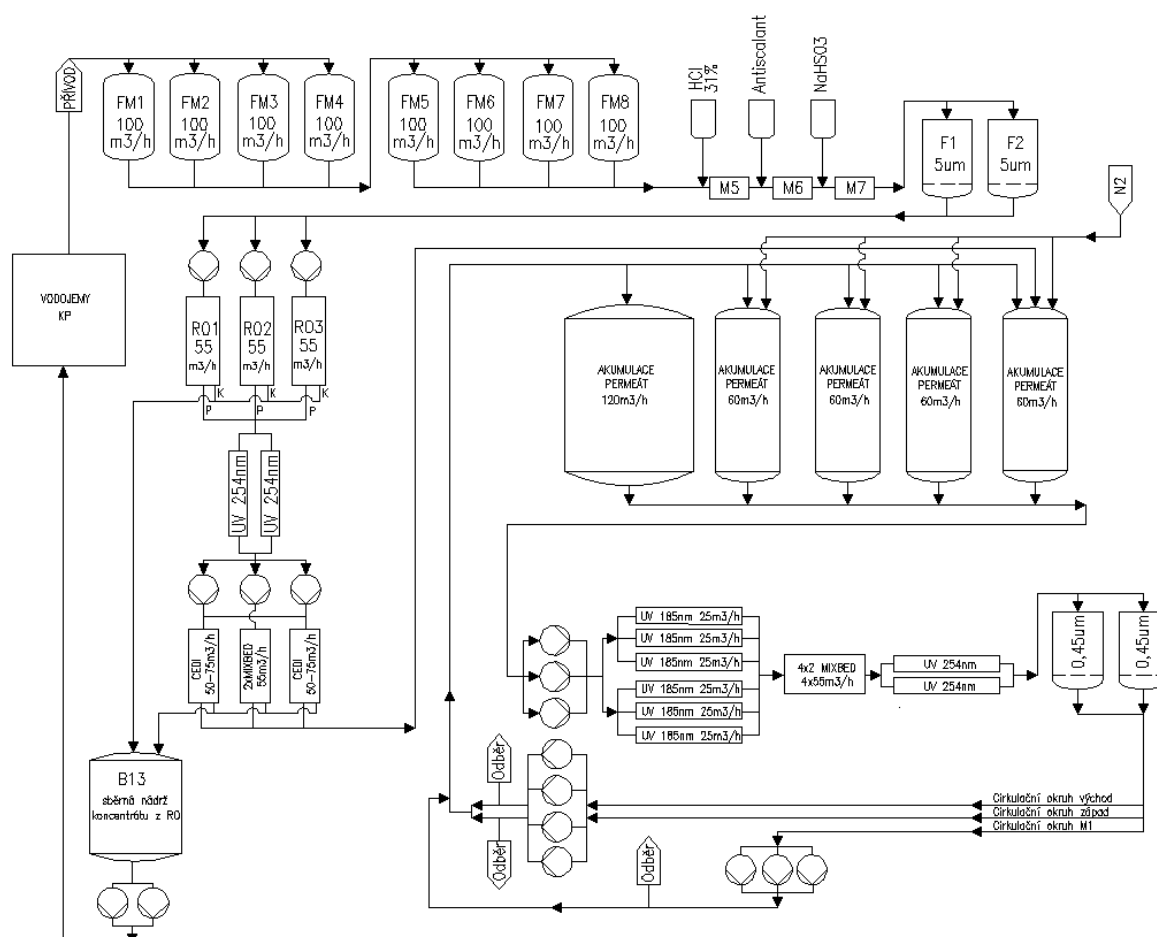
5.17 Kalové hospodářství a likvidace odpadních vod

Odpadní prací vody jsou vypouštěny do jímky odpadní prací vody. Po vyprání jednoho filtru je nutno objem přecerpat na dva lamelové usazovaky LU 22. Režim praní je takový, aby pro praní následujícího filtru bylo odpadní prací jímka vyprázdněna. Odsazená prací voda je gravitačně odváděna do přepadu homogenizační nádrže úpravny a odtud vypouštěna do dešťové kanalizace. Kal, shromážděný v kalovém prostoru lamelových usazováků LUF 60 a LU 22 je gravitačně odváděn do kalové jímky úpravny. Kal z této jímky je čerpán kalovým potrubím do vtokové nádrže čistírny odpadních vod.

6 Demineralizační stanice a její technologické procesy

Demineralizační stanice v průmyslovém areálu TESLA Rožnov pod Radhoštěm zajišťuje zvýšení jakosti upravené surové vody na úroveň vody ultračisté. Výkon demineralizační stanice je projektován na $3 \times 55 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

6.1 Schéma demineralizační stanice o výkonu $3 \times 55 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$



Obr. 8 Schéma demineralizační stanice o výkonu $3 \cdot 55 \text{ m}^3$

6.2 In Line koagulační filtrace (FM1 – FM8)

Z rozvodné sítě vstupuje voda do dvoustupňově provedeného In Line koagulačního filtru FM1 – FM8. Každý z obou stupňů sestává ze čtyř paralelně zařazených filtrů. V každém vstupu do filtru je pro kontrolu průtoku instalovaný průtokoměr. Každý filtr je dále vybaven diferenciálním manometrem, který signalizuje nepřipustně vysoký diferenciální tlak na filtrační vrstvě. Zpětný proplach filtru se provádí podle provozní doby filtru a je řízen automaticky pomocí časovacího zařízení. K docílení optimálních filtračních výsledků je před každý stupeň filtrace dávkován polyelektrolyt.

6.3 Reversní osmóza (RO) – předúprava

Předupravená voda, která vychází z koagulačních filtrů je před vstupem do zařízení RO dále předupravována dávkováním HCl, antiscaling, NaHSO₃ a předfiltrací.

6.3.1 Dávkování HCl

K dosažení požadované kvality permeátu musí být voda pro RO upravena na určitou hodnotu pH. Toto je prováděno dávkováním HCl do vstupní vody pomocí dávkovacích čerpadel. Řízení dávkovacích čerpadel se provádí pomocí měřicího zařízení v závislosti na naměřeném pH.

6.3.2 Dávkování PT191 (Permatreat 191 - antiscaling)

K vyšší výtěžnosti permeátu (ze 75 na 85 %) je dávkován do potrubí upravené vody před vysokotlaká čerpadla PT191. Dávkováním PT191 je možno provozovat zařízení RO při pH až 7,2 bez dávkování HCl. Z tohoto důvodu je na regulátoru nastavena dávka HCl na 7,2 pH. Dávkování PT191 je prováděno dávkovacími čerpadly a dávkuje se v závislosti na množství vody protečené přes zařízení RO.

6.3.3 Reversní osmóza – předfiltrace

Po provedení dávkování PT191 probíhá kondicionování čisté vody ve dvou paralelně zapojených předfiltrech F1 a F2. Každý z obou filtrů je osazen 27 ks filtračních svíček s jemností filtrace 5 µm. Hlídání diferenčního tlaku na filtrech se provádí pomocí diferenčního manometru. Při překročení diferenčního tlaku 0,5 bar mezi vstupem a výstupem z filtru, musí být filtrační svíčky vyměněny.

6.3.4 Dávkování NaHSO₃

K zabránění možného růstu bakterií v zařízení RO a k dechloraci vstupní vody před RO je do potrubí za filtry F1 a F2 dávkován roztok NaHSO₃ pomocí dávkovacích čerpadel. Řízení dávkovaného množství roztoku je prováděno v závislosti na průtoku vstupní vody pomocí měřiče průtoku.

6.3.5 Reversní osmóza – vysokotlaká čerpadla

K získání tlaku vody potřebného pro provoz RO jsou instalovány 3 ks vysokotlakých čerpadel. Jedná se o čerpadla GRUNDFOS typ SP 95–12 o výkonu 142 m³·h⁻¹. Těmito čerpadly jsou samostatně napájeny 3 bloky RO. Do přívodního potrubí ke každému

čerpádlu je nainstalováno zařízení pro měření tlaku a jištění čerpadel proti chodu nasucho. Jištění čerpadel proti přetlaku se provádí na tlakové straně čerpadel pomocí instalovaných měřičů tlaku. Chod čerpadel je řízen v závislosti na hladinách zásobníků permeátu.

6.4 Reversní osmóza (RO)

Od tří vysokotlakých čerpadel postupuje předupravená voda na tři bloky zařízení RO. Každý blok je napájen odděleně jedním čerpádem. Každý blok je vybaven vysokotlakovými trubkami řazených ve stupních.

Reverzní osmóza		
Stupeň	Tlakové trubky	Vinuté moduly
1	7	5
2	4	5
3	2	5

Tab. 1 Stupně reversní osmózy

V každém bloku RO je umístěno 65 ks modulů. V modulech je na základě vysokého tlaku napájecí voda rozdělována na permeát 85 % a koncentrát 15 %. Koncentrát vycházející z modulů stupně č. 1 je přiváděn na stupeň č. 2. Koncentrát ze stupně č. 3 je přiváděn do zásobníku B13 (sběrač koncentráту). Permeát získaný v jednotlivých stupních je přes sběrná potrubí přiváděn přes UV záření a elektrodeionizaci do následujících akumulačních zásobníků permeátu. Výsledná konduktivita upravené vody se pohybuje od 5 do 15 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

6.4.1 UV reaktor 254nm

Vyrobený permeát z RO je následně sterilizován UV 254nm reaktorem. Ultrafialové záření o délce 254nm zabijí organické látky, poškozuje jejich strukturu molekul DNA, a tím znemožňuje jejich rozmnožování. Zároveň však neovlivňuje kvalitu vody.

6.4.2 Elektrodeionizace (EDI)

Sterilizovaný permeát je dále upraven na jednotce kontinuální elektrodeionizace. Zde dochází k rapidnímu snížení solí a organických látek. EDI odstraní i slabě disociované sloučeniny, které RO neodstranila. Jednotka funguje s konverzí permeátu 90 % a koncentráту 10 %. Koncentrát je přiváděn do sběrné nádrže B13. U EDI nedochází díky elektrické regeneraci k vyčerpání iontoměniče. Výsledná konduktivita upravené vody se pohybuje pod 1 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

6.4.3 Sběrná nádrž koncentrátu

Produkovaný koncentrát z reverzní osmózy je odváděn potrubím do sběrné nádrže. Ze sběrné nádrže je pak koncentrát odčerpán potrubím do přítokové jímky surové vody úpravy vody, kde je smícháván se vstupní surovou vodou z řeky Bečvy.

6.5 Akumulační zásobníky permeátu 4 x 60 m³·h⁻¹

Akumulační zásobníky slouží jako vyrovnávací nádrže mezi odběrem a výrobou permeátu. Zásobníky zvyšují bezpečnost dodávky permeátu do technologické sítě při nepředvídatelných potížích na technologii, dodávky vody či výpadku elektrického proudu. Jejich kapacita je 240 m³ a při běžných odběrech cca 100 m³·h⁻¹ vystačí jako zásoba pro dodávání do technologické sítě na 2,5h. Permeát z akumulčních zásobníků je dopravován přes další UV reaktory, dočištění na MIXBEDu a mikrofiltraci do technologické sítě a následně přiváděn k jednotlivým odběratelům. Tato technologická síť je cirkulační a nespotřebovaný permeát je přiveden zpět do akumulčních zásobníků permeátu. K zamezení vzniku mikrobiálního života je přiváděn do akumulčních nádrží dusík o atmosférickém tlaku. Akumulační zásobníky jsou osazeny snímačem hladiny, který ovlivňuje výkon RO.

6.6 Dočištění vyrobené vody

Dočištění vyrobené vody slouží ke stabilizaci kvalitativních parametrů požadované kvality ultračisté vody. Probíhá zde odstranění organických látek, posledních zbytků solí a částic.

6.6.1 UV reaktor 185nm

Ultrafialové záření o délce 185nm zajišťuje rozrušení struktury organických látek a současně dezinfikuje vodu. Tyto látky jsou následně odstraněny na mixbedech.

6.6.2 MIXBEDY

Vyrobena voda je upravována na čtyřech dvojicích sériově řazených směsných filtrů. Protéká ionexovou náplní, což je směs silně kyselého katexu a silně basického anexu, směrem shora dolů. Katex v H⁺ formě odstraňuje z vody kationty výměnou za vodíkové ionty a regeneruje se kyselinou solnou. Anex v OH formě odstraňuje anionty výměnou za hydroxilové ionty a regeneruje se hydroxidem sodným. Na směsných filtrech probíhá měření konduktivity a při dosažení hodnoty 0,8 μS cm⁻¹ se provede regenerace. Výsledná

konduktivita upravené vody se pohybuje pod $0,058 \mu\text{S cm}^{-1}$ a organické látky se pohybují pod 3ppb.

6.6.3 UV reaktor 254nm, Mikrofiltr 0,45 μm

Upravená voda ze směsných filtrů je dále dezinfikována prostřednictvím UV reaktoru 254nm. Rozrušené struktury organických látek jsou následně filtrovány na mikrofiltru 0,45 μm . Tento filtr zabrání ke zvýšení průniku organických látek do technologické sítě.

6.7 Dodávka demineralizované vody do technologické sítě

Průmyslový areál TESLA Rožnov pod Radhoštěm má technologickou síť rozdělenou do tří cirkulačních okruhů východ, sever a M1.

6.7.1 Cirkulační okruh východ

Pro zásobování východní části průmyslového areálu je na začátku nainstalováno posilovací čerpadlo a záložní posilovací čerpadlo. Čerpadlo zajišťuje konstantní minimální průtok $45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a tlak 5,5 – 6,5 bar. Cirkulační okruh má přívodní potrubí k odběratelům a zpáteční potrubí, které odvádí nespotřebovanou demineralizovanou vodu zpět do akumulčních nádrží.

6.7.2 Cirkulační okruh západ

Pro zásobování západní části průmyslového areálu je na začátku nainstalováno posilovací čerpadlo a záložní posilovací čerpadlo. Čerpadlo zajišťuje konstantní minimální průtok $45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a tlak 5,5 – 6,5 bar. Cirkulační okruh má přívodní potrubí k odběratelům a zpáteční potrubí, které odvádí nespotřebovanou demineralizovanou vodu zpět do akumulčních nádrží.

6.7.3 Cirkulační okruh M1

Pro zásobování M1 části průmyslového areálu je na začátku nainstalováno posilovací čerpadlo a dvě záložní posilovací čerpadla. Čerpadlo zajišťuje konstantní minimální průtok $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a tlak 5,5 – 6,5 bar. Cirkulační okruh má přívodní potrubí k odběratelům a zpáteční potrubí, které odvádí nespotřebovanou demineralizovanou vodu zpět do akumulčních nádrží.

6.8 Kvalitativní parametry demineralizované vody

Celá technologie demineralizační stanice zajišťuje tyto parametry ultračisté vody:

Název parametru	Garantovaná hodnota	Jednotka
Specifický odpor	min. 17	MΩ·cm
TOC	Max. 3	ppb
Mikroorganismy	Max. 3	kol·100ml ⁻¹
SiO ₂	5	ppt
Fe	500	ppt
Cu	500	ppt
Ni	500	ppt
Pb	500	ppt
Zn	500	ppt
Na	500	ppt
Al	500	ppt
K	500	ppt
Ca	500	ppt
Cr	500	ppt

Tab. 2 Kvalitativní parametry demineralizované vody

7 Zpracování návrhu pro přípravu zvýšeného množství

Průmyslový areál je napájen vodou z řeky Bečvy. Surová voda je na úpravně vody upravena na vodu odpovídající kvalitou pitné vodě. Z úpravny vody je upravená voda čerpána na vodojemy Koryčanské Paseky. Z vodojemu je veden gravitační přivaděč pro zásobování průmyslového areálu pitnou vodou. Rozvodným potrubím je přivedena voda do demineralizační stanice. Popis je zpracován graficky ve schématickém výkresu s označením STA0350-01.

Při navýšení produkce ultračisté vody z $120 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na $180 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ s výhledem až $240 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ je zásobování vodou gravitačně z vodojemu nevyhovující. Nevyhovující je přívodní potrubí, které dokáže gravitačně přenést maximálně $120 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Tento problém lze vyřešit záložním potrubím z rozvodné sítě, ale není to rozumné řešení z hlediska bezpečnosti provozu a energetické náročnosti čerpadel, vyčerpat vodu z úpravny do vodojemů. Z tohoto důvodu jsem v rámci práce naprojektoval novou potrubní trasu, která vyřeší dopravu požadovaného množství pro výrobu. Potrubní trasa povede přímo z úpravny do demineralizační stanice a potrubí z rozvodné sítě z vodojemů poslouží jako záložní pro zvýšení bezpečnosti. K nové potrubní trase jsem provedl hydraulický výpočet s návrhem vhodného čerpadla a také tuto trasu zanesl graficky na výkresy s označením STA0350-01 a STA0350-02.

Pro navýšení produkce ultračisté vody se musí rozšířit stávající technologická linka o další autonomní technologickou linku. Tato linka využije stávající pískovou filtraci. Pro chemickou předúpravu bude nadále využíváno stávající dávkování kyseliny chlorovodíkové, antiscalingu a hydroxidu sodného. Dále bude voda filtrována přes svíчковý mikrofiltr s velikostí póru $5 \text{ } \mu\text{m}$ pro ochranu reverzní osmózy. Přefiltrována voda bude čerpána pracovním čerpadlem Wilo HELIX V 5203/2–2/16/V/KS/400–50 – 11kW na reverzní osmózy. Permeát reverzních osmóz je následně sterilizován na UV 254nm záření a čerpán pracovním čerpadlem Wilo HELIX V 5203/2–2/16/V/KS/400–50 – 11kW přes elektrodeionizační jednotky do nové a dvou stávajících akumulacích nádrží permeátu. Z akumulace bude permeát čerpán pracovním čerpadlem Wilo HELIX V 5203/2–2/16/V/KS/400–50 – 11kW přes UV 185nm záření určené pro dostatečnou eliminaci organických látek a dezinfekci na směsné filtry. Upravená voda ze směsných filtrů bude dále dezinfikována prostřednictvím UV 254nm záření a finálně upravena na mikrofiltrech o velikosti póru $0,45 \text{ } \mu\text{m}$. Následně bude ultračistá voda čerpána do cirkulačních okruhu prostřednictvím stávajících čerpadel. Tato navržená autonomní linka

přináší pro výrobu několik výhod. Zabezpečí kontinuální výrobu až $120 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ nezávisle na původní lince a tím zvýší bezpečnost produkce ultračisté vody. Stávající linka je zakreslena graficky na výkrese s označením STA0350-03 a navržené rozšíření linky je graficky zpracováno na výkrese s označením STA0350-04.

Technologické zařízení	Výkon	Jednotka	Počet
Svíčkový mikrofiltr (5 μm)	120	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	1
Pracovní čerpadlo reverzní osmózy	75	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	2
Jednotka reverzní osmózy	65	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	2
UV reaktor 254nm	60	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	2
Pracovní čerpadlo elektrodeionizace	65	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	2
Jednotka elektrodeionizace	60	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	2
Akumulační nádrž	120	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	1
Pracovní čerpadlo UV+MIXBED+UV	60	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	2
UV reaktor 185nm	50	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	2
Směsné filtry MIXBED	100	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	1
UV reaktor 254nm	100	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	1
Mikrofiltrace (0,45 μm)	100	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	1

Tab. 3 Seznam technologických zařízení

8 Nová potrubní trasa

Nová projektovaná potrubní trasa má za úkol vyřešit dopravu požadovaného množství vody pro navýšení produkce ultračisté vody. Potrubní trasa povede přímo z úpravní do demineralizační stanice. Tato trasa je zakreslená graficky na výkrese s označením STA0350-01 a STA0350-02. V tab. 4 jsou zapsány požadované parametry pro výpočet.

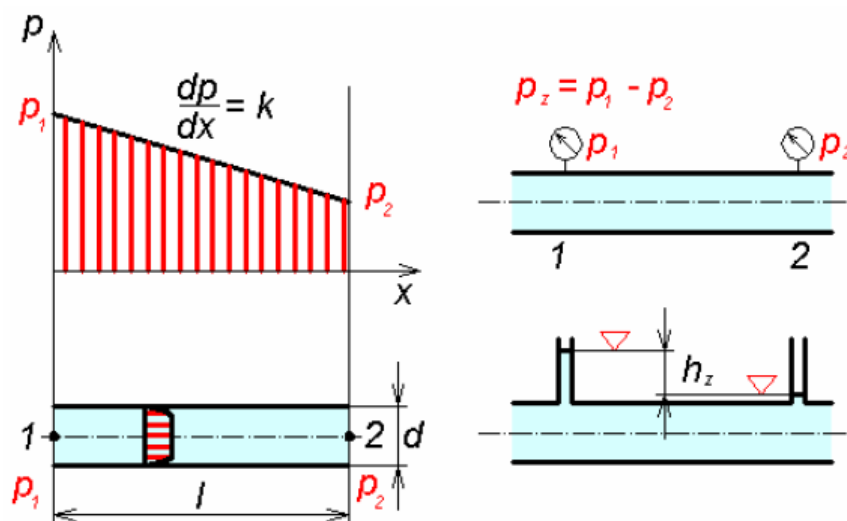
Zadáno			
Veličina	Zkratka	Hodnoty	Jednotky
Průtok	Q	240	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
Délka potrubí	L	494	m
Výška trubního mostu	h	8	m
Teplota vody	t	0	$^{\circ}\text{C}$
Průměr potrubí	d	0,22	m
Absolutní drsnost potrubí	k	0,01	-
Hustota vody	ρ	999,941	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Dynamická viskozita vody	η	$1,787 \cdot 10^{-3}$	$\text{Pa} \cdot \text{s}$
Kinematická viskozita vody	ν	$1,787 \cdot 10^{-3}$	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Tab. 4 Zadané hodnoty pro výpočet

8.1 Hydraulický výpočet [4]

Hydraulický výpočet potrubí je založen na aplikaci rovnice kontinuity, Bernoulliho rovnice pro skutečnou kapalinu a na určení hydraulických odporů neboli hydraulických ztrát. Při proudění skutečných tekutin vznikají následkem viskozity hydraulické odpory, tj. síly, které působí proti pohybu částic tekutiny. Mechanismus hydraulických odporů je složitý jev, který se dosud nepodařilo exaktně vyřešit až na jednodušší případy laminárního proudění. Proto se v hydraulických výpočtech uplatňuje řada poloempirických metod.

Pod pojmem hydraulické odpory při proudění skutečné tekutiny jsou zahrnuty všechny účinky, které způsobí rozptýl energie. Rozptýlená (ztrátová) energie na hydraulických odporech se projeví buď jako vynucené proudění v potrubí apod., nebo úbytek kinetické energie (např. výtok z nádob otvory), nebo snížení polohové energie (např. proudění v korytech, gravitační potrubí atd.) – Obr. 9



Obr. 9 Tlakový spád v potrubí [4]

Práce třecích sil (tečných napětí od viskozity) při proudění skutečných tekutin způsobuje rozptýl (disipaci) energie, což snižuje mechanickou energii proudící tekutiny. Rozptýlená energie se mění v teplo (zvětší se vnitřní energie tekutiny, popřípadě okolí), což je nevratná změna. Tradičně se proto rozptýlená energie nazývá ztrátová, i když název neodpovídá zákonu zachování energie. Rozptýlenou (ztrátovou) energii vztahuje obvykle na jednotku hmotnosti, tíhy nebo objemu a platí vztah:

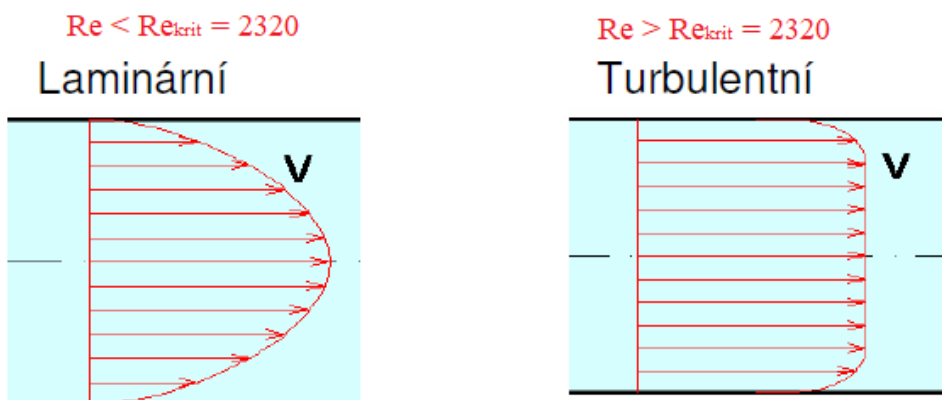
$$e_z = Y_z = \frac{p_z}{\rho} = \xi \cdot \frac{v^2}{2} = g \cdot h_z \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (1)$$

Z fyzikálního hlediska lze odpory v potrubí rozdělit na třecí a místní ztráty.

8.1.1 Třecí ztráty v potrubí [4]

Následující příklad výpočtu třecích ztrát je proveden pro uvažovanou maximální produkci ultračisté vody $240 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Třecí ztráty rostou s délkou potrubí a jsou závislé na režimu proudění, tj. Reynoldsovo číslo. Proudění rozdělujeme na laminární a turbulentní. Oba druhy proudění se liší jak rychlostním profilem, tak i velikostí hydraulických ztrát. Pro proudění v kruhovém potrubí je kritická hodnota Reynoldsova čísla $Re_{\text{krit}} = 2320$, která určuje přechod z laminárního proudění v turbulentní. Reynoldsovo číslo je definováno vztahem:

$$Re = \frac{v_s \cdot d}{\nu} \quad (2)$$



Obr. 10 Rychlostní profil v potrubí [4]

Pro výpočet Reynoldsova čísla je zapotřebí znát střední rychlost v_s v potrubí a ta se vypočítá ze zadané hodnoty objemového průtoku z rovnice kontinuity

$$Q = S \cdot v_s \Rightarrow v_s = \frac{Q}{S} = \frac{4Q}{\pi \cdot d^2} \quad (3)$$

$$v_s = \frac{4 \cdot 0,067}{\pi \cdot 0,22^2}$$

$$v_s = 1,763 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

Potom dosadíme vypočítanou střední rychlost potrubí do rovnice (2)

$$Re = \frac{v_s \cdot d}{\nu} \quad (4)$$

$$Re = \frac{1,763 \cdot 0,22}{1,787 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re = 217045 \text{ [-]}$$

$$217045 > 2320$$

217045 \Rightarrow turbulentní proudění

U turbulentního proudění je tečné napětí větší, a proto jsou ztráty třením větší než u laminárního proudění. Součinitel tření λ je závislý na velikosti Reynoldsova čísla a absolutní drsnosti stěny k potrubí. Absolutní drsnost potrubí k závisí na druhu materiálu, jeho zpracování a provozních podmínkách.

Materiál potrubí	Původní stav (mm)	Korodovaný stav (mm)
Tažené trubky mosazné, měděné, hliníkové	0,0015 až 0,003	0,003 až 0,1
Bezešvé trubky ocelové	0,04 až 0,1	0,1 až 0,9
Tažené trubky ocelové	0,03 až 0,12	0,12 až 0,9
Svařované trubky ocelové	0,05 až 0,1	0,1 až 0,9
Pozinkované trubky ocelové	0,15 až 0,5	0,5 až 3,5
Vodovodní potrubí po 20-ti a více letech v provozu		0,6 až 3,0
Skleněné trubky, trubky z plastů	0,001 5 až 0,01	
Přezové hadice	0,01 až 0,03	
Betonové potrubí	0,3 až 6,0	

Obr. 11 Absolutní drsnost materiálu potrubí [4]

Rovnice pro výpočet součinitele tření jsou stanoveny na základě experimentálního měření. Součinitel tření v Altšuluvě vzorci při uvažování drsnosti potrubí je explicitně vyjádřený ve formě:

$$\lambda = 0,1 \cdot \left(\frac{100}{Re} + \frac{k}{d} \right)^{0,25} \quad (5)$$

$$\lambda = 0,1 \cdot \left(\frac{100}{217045} + \frac{0,01}{0,22} \right)^{0,25}$$

$$\lambda = 0,046 [-]$$

Pro ztrátovou výšku h_z platí rovnice, která je často odvozována jako Darcy – Weisbachova:

$$h_z = \frac{p_z}{\rho \cdot g} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (6)$$

Dosazením hodnot do rovnice (6) vypočteme ztrátovou výšku

$$h_z = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (7)$$

$$h_z = 0,046 \cdot \frac{494}{0,22} \cdot \frac{1,763^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$h_z = 16,363 [m]$$

Pro výpočet tlakové ztráty se musí upravit Darcy – Weisbachova rovnice (6)

$$h_z = \frac{p_z}{\rho \cdot g} \Rightarrow p_z = \rho \cdot g \cdot h_z \quad (8)$$

$$p_z = 999,941 \cdot 9,81 \cdot 16,363$$

$$p_z = 160512 \text{ [Pa]}$$

8.1.2 Místní odpory [4]

V každém potrubí bývají vedle rovných úseků i různá kolena, odbočky armatury apod., kromě toho se může měnit průřez potrubí. V těchto částech potrubí dochází ke změně velikosti i směru rychlosti proudění, což vyvolá víření, popřípadě odtržení proudu kapaliny spojené s rozptylem energie. Energie proudící kapaliny se rozptyluje v místě potrubí, kde dochází ke změně vektoru rychlosti, proto je rozptyl nazván místními ztrátami.

Velikost místních ztrát, tj. ztrátová energie pro překonání místních ztrát je závislá obdobně jako ztráta třením na rychlosti proudění a ztrátovém součiniteli

$$e_z = \frac{p_z}{\rho} = g \cdot h_z = \xi \cdot \frac{v^2}{2} \quad (9)$$

Pro výpočet měrné ztrátové energie se použije rovnice (9)

$$e_z = \frac{p_z}{\rho} \quad (10)$$

$$e_z = \frac{160512}{999,941}$$

$$e_z = 160,521 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$$

Ztrátový součinitel ξ závisí na druhu ztráty, konstrukčních parametrech, drsnosti stěn, tvaru rychlostního profilu a na režimu proudění. Pro výpočet ztrátového součinitele se upraví rovnice (9)

$$e_z = \xi \cdot \frac{v^2}{2} \Rightarrow \xi = \frac{2 \cdot e_z}{v^2} \quad (11)$$

$$\xi = \frac{2 \cdot 160,521}{1,763^2}$$

$$\xi = 103,289 \text{ [-]}$$

Celkový ztrátový součinitel ξ_c zahrnuje ztráty třením a všechny místní ztráty místní

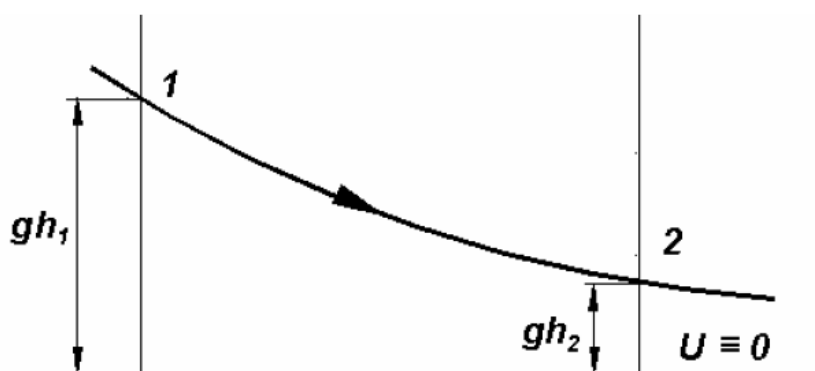
$$\xi_c = \lambda \cdot \frac{L}{d} + \xi \quad (12)$$

$$\xi_c = 0,046 \cdot \frac{494}{0,22} + 103,289$$

$$\xi_c = 206,579 [-]$$

8.1.3 Charakteristika potrubí [4]

Pro jednoduché potrubí stálého průřezu platí Bernoulliho rovnice, která porovnává energii kapaliny na počátku a na konci potrubního úseku



Obr. 12 Schéma jednoho potrubního úseku [4]

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot h_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot h_2 + g \cdot h_z \quad (13)$$

Charakteristika potrubí se vyjadřuje jako závislost tlakového spádu Δp na průtoku Q , pak

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho \cdot g \cdot (h_2 - h_1) + \rho \cdot \frac{\xi_c}{2} \cdot \left(\frac{4}{\pi \cdot d^2} \right)^2 \cdot Q^2 \quad (14)$$

$$\Delta p = 999,941 \cdot 9,81 \cdot 8 + 999,941 \cdot \frac{206,579}{2} \cdot \left(\frac{4}{\pi \cdot 0,22^2} \right)^2 \cdot 0,067^2$$

$$\Delta p = 399331 [Pa]$$

Pro přepočítání mezi měrnou energií, tlakovou ztrátou a dopravní výškou se použije následující rovnice

$$Y_p = \frac{\Delta p}{\rho} = g \cdot H \quad (15)$$

Pro výpočet měrné energie se použije rovnice (15)

$$Y_p = \frac{\Delta p}{\rho} \quad (16)$$

$$Y_p = \frac{399331}{999,941}$$

$$Y_p = \mathbf{399,355} \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$$

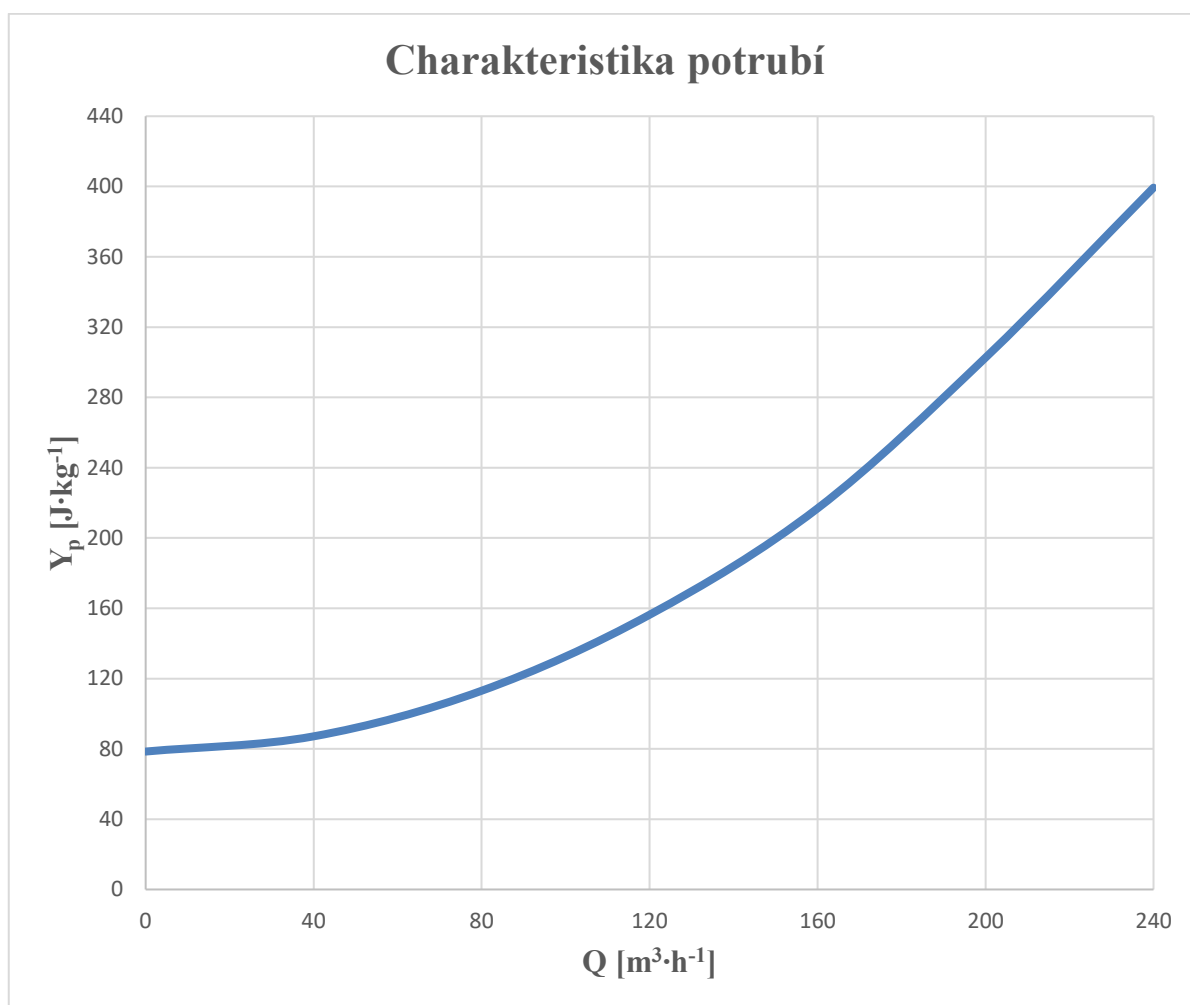
Z vypočtené měrné energie se vypočítá dopravní výška, která je potřebná pro volbu čerpadla

$$H = \frac{Y_p}{g} \quad (17)$$

$$H = \frac{399,355}{9,81}$$

$$H = \mathbf{40,7} \text{ [m]}$$

Pro vytvoření grafu charakteristiky potrubí je zapotřebí vypočítat měrnou energii pro různé objemové průtoky. Výpočet se provede podle rovnice (14), (15) a výsledky se zapíší do tab. 4. Závislost $Y_p = f(Q)$ se zobrazí do *Graf 1*.



Graf 1 Odporová charakteristika potrubí

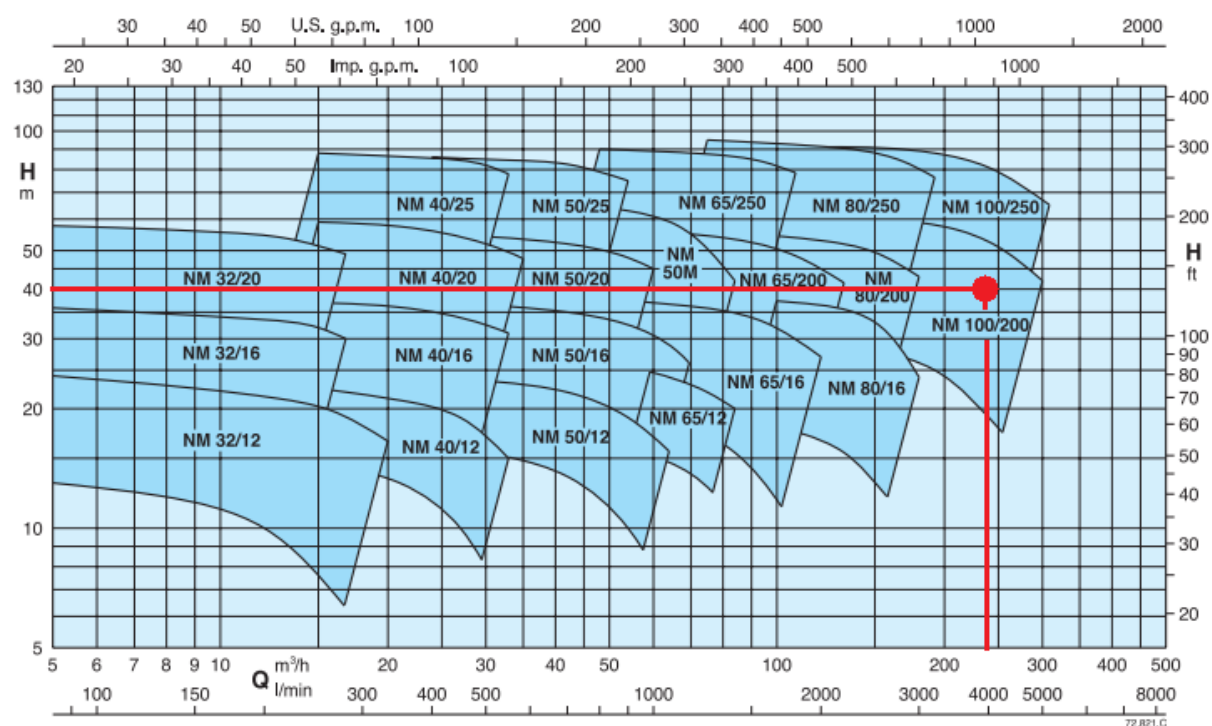
Q [m³·h ⁻¹]	Y _p [J·kg ⁻¹]
0	78,479
40	87,129
80	113,076
120	156,322
160	216,866
200	302,642
240	399,355

Tab. 5 Závislost měrné energie kapaliny v potrubí na objemovém průtoku

9 Volba čerpadla

Při volbě čerpadla je důležité znát pro jaký účel čerpadlo potřebujeme. Pro dopravu vody v potrubí z jednoho místa na druhé se používají čerpadla objemová – hydrostatická, s přímou přeměnou mechanické energie v energii tlakovou. Čerpadlo se volí podle maximálního průtoku a dopravní výšky.

V prvním kroku byl vybrán výrobce Calpeda, který vyrábí průmyslová čerpadla vhodná pro zásobování pitnou a užitkovou vodou. Následně do produktového listu je na vodorovnou osu vynesena zadaný maximální průtok $240 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a na svislou osu je z charakteristiky potrubí zanesena vypočítaná dopravní výška 40,7 m.



Obr. 13 Produktový list čerpadel Calpeda NM [9]

Po zakreslení maximálního průtoku a dopravní výšky do produktového listu byla dotčena pracovní oblast čerpadla NM 100/200 a poté zvoleno odstředivé čerpadlo typu NM 100/200BE 400V 37kW 2900ot..

B-NM	NM	P ₂		Q m³/h	75	84	96	108	120	132	150	168	180	192	210	240	270	300
		kW	HP		l/min	1250	1400	1600	1800	2000	2200	2500	2800	3000	3200	3500	4000	4500
B-NM 80/160EE	NM 80/16EE	7,5	10	H m	20	19,3	18,5	17,5*	16,5*	15,5*	13*							
B-NM 80/160DE	NM 80/16DE	9,2	12,5		23	22,5	22	21*	19,5*	18*	15*							
B-NM 80/160CE	NM 80/16CE	11	15		27,5	27	26,5	25,5*	24,5*	23*	20*	16*						
B-NM 80/160BE	NM 80/16BE	15	20		34	33,5	33	32,5*	32*	31*	28*	23*	18*					
B-NM 80/160AE	NM 80/16AE	18,5	25		38,5	38	37,5	37*	36,5*	36*	33*	29*	24*					
	NM 80/200BE	22	30		46,5	46	45,5	44,5	43,5*	42*	39*	35,5*	32*					
	NM 80/200AE	30	40		56	55,5	55	54	53*	52*	49,5*	46*	43*					
	NM 80/250EE	22	30		51	50	48,5	46,5	44,5*	42*	38*	33*	29*					
	NM 80/250DE	30	40		65	64	62,5	61	59*	56,5*	53*	49*	45,5*	41*				
	NM 80/250CE	37	50		73,5	73	72	70,5	69*	67*	63*	59*	55,5*	51,5*				
	NM 80/250BE	45	60		84	83,5	82,5	81,5	80*	78*	74,5*	70,5*	67*	63*				
	NM 80/250AE	55	75		95	94,5	93,5	92,5	91,5*	90*	87,5*	84*	80,5*	76,5*				
	NM 100/200EE	18,5	25					30	29,5	29	28	27	26*	25*	23*	19*		
	NM 100/200DE	22	30					36	35,5	35	34	33	32*	31*	29*	24,5*	19*	
	NM 100/200CE	30	40					45	44,5	44	43,5	42,5	41,5*	40,5*	39*	34,5*	29*	22*
	NM 100/200BE	37	50					54	53,5	53	52,5	51,5	50,5*	49,5*	48*	44*	38,5*	32*
	NM 100/200AE	45	60					61,5	61	60,5	60	59,5	58,5*	58*	56,5*	53*	48*	42*
	NM 100/250BE	55	75					73,5	73	72,5	71,5	70	68,5*	67*	65*	61*	55,5*	48,5*
	NM 100/250AE	75	100					91	90,5	90	89,5	88,5	88*	87*	85*	81*	75*	67*

NM, NMD

B-NM, B-NMD

I-NM, I-NMD

Bežné provedení.
Provedení v bronzu.
Provedení v nerez oceli.

P₂

H

Jmenovitý výkon motoru.
Celková tlaková výška v m.

★

◐

Maximální sací výška 1-2 m.
Se spádem 1 m.
Tolerance v souladu s ISO 9906, příloha B.

Obr. 14 Produktový list čerpadel Calpeda NM [9]

Technické parametry tohoto čerpadla z Obr. 14 jsem pro větší přehlednost zapsal do Tab. 6

Q [m³·h ⁻¹]	H [m]
108	54
120	53,5
150	52,5
180	50,5
210	48
240	44
270	38,5
300	32

Tab. 6 Parametry čerpadla

9.1 Energetické charakteristiky

Energetické charakteristiky jsou křivky sestavené z vypočtených parametrů. Slouží ke grafickému zobrazení průběhu důležitých provozních veličin a také ke stanovení, tzv. provozního bodu. Hlavní charakteristiky jsou tlaková, příkonová, účinnostní a doplňující je charakteristika měrné spotřeby energie.

Pro vytvoření energetických charakteristik čerpadla jsem vypočítal měrnou energii čerpadla a účinnost. Výpočet jsem provedl v EXCELU a zapsal přehledně do Tab. 7. Následně jsem charakteristiky znázornil graficky.

Vzorový výpočet měrné energie čerpadla pro dopravní výšku 40,7 m

$$Y_{\text{č}} = g \cdot H \quad (18)$$

$$Y_{\text{č}} = 9,81 \cdot 40,7$$

$$Y_{\text{č}} = \mathbf{399,27 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1}]}$$

Vzorový výpočet účinnosti čerpadla pro objemový průtok $240 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \Rightarrow 0,067 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$$\eta_{\text{č}} = \frac{Q \cdot Y_{\text{č}}}{P} \cdot 100 \quad (19)$$

$$\eta_{\text{č}} = \frac{0,067 \cdot 431,64}{37} \cdot 100$$

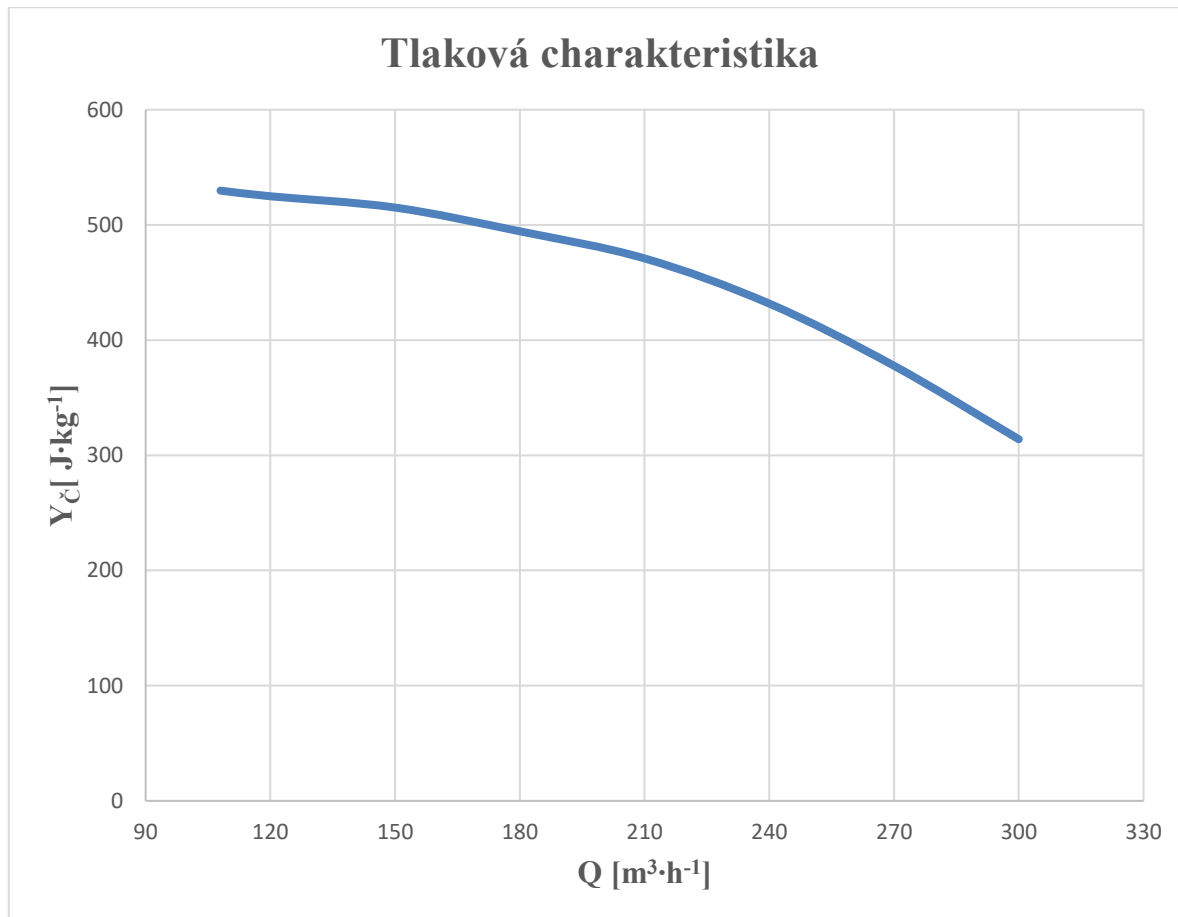
$$\eta_{\text{č}} = \mathbf{78,2 \text{ [\%]}}$$

Q [m³·h⁻¹]	Y_č [J·kg⁻¹]	η_č [%]
108	529,74	42,9
120	524,835	46,8
150	515,025	58,5
180	494,405	67,1
210	470,88	73,8
240	431,64	78,2
270	377,685	76,6
300	313,92	70,4

Tab. 7 Vypočtené parametry čerpadla

9.1.1 Tlaková charakteristika

Ke zvyšování měrné energie vody dochází zejména díky nárůstu tlaku, proto je tato závislost označovaná jako tlaková charakteristika. Vytvořený graf má zápis zvýšení měrné energie čerpadla $Y_{\text{č}} = f(Q)$



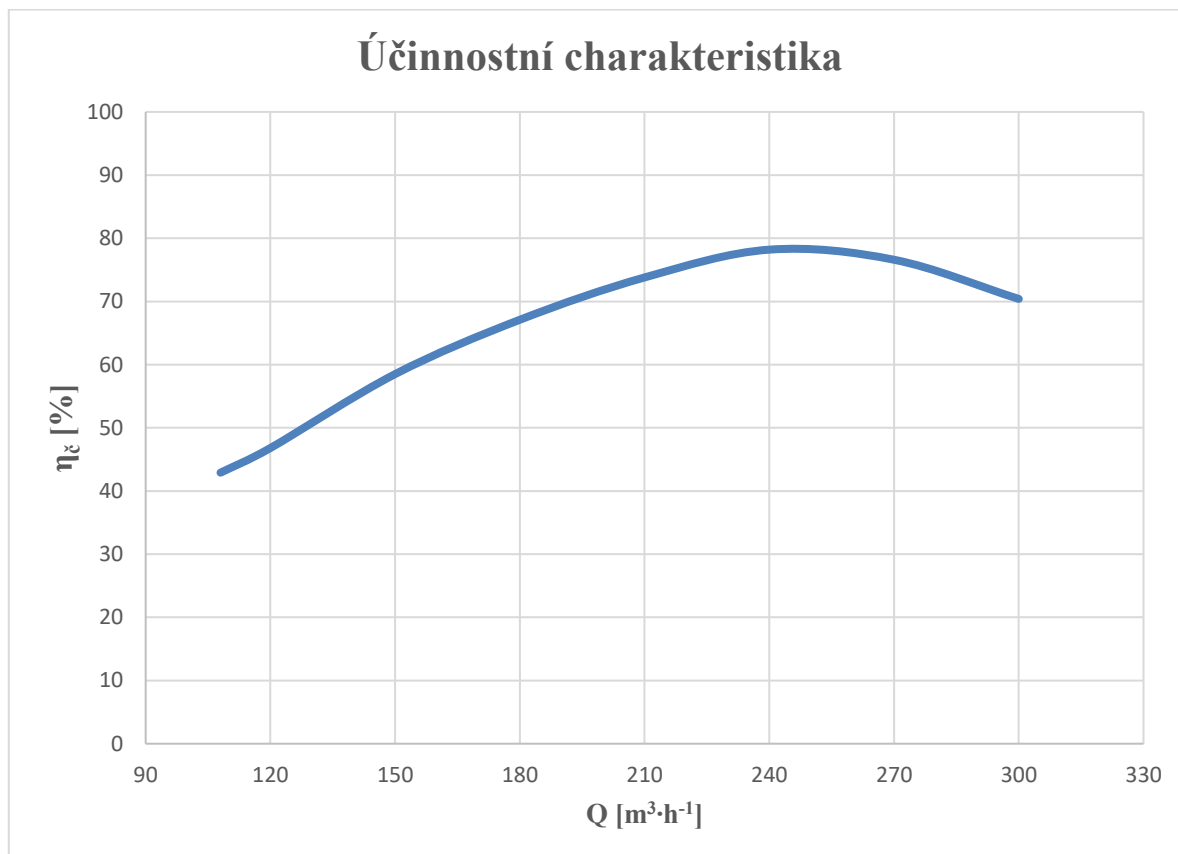
Graf 2 Tlaková charakteristika čerpadla

Q [m ³ ·h ⁻¹]	Y _č [J·kg ⁻¹]
108	529,74
120	524,835
150	515,025
180	494,405
210	470,88
240	431,64
270	377,685
300	313,92

Tab. 8 Závislost měrné energie čerpadla na objemovém průtoku

9.1.2 Účinnostní charakteristika

Pro tuto charakteristiku je typické, že má nulové body při nulovém nárustu měrné energie, nulové změně tlaku a nulového objemu. Maximum by mělo ležet ve stabilní oblasti tlakové charakteristiky. Charakteristik má parabolický tvar a značí se $\eta_{\xi} = f(Q)$



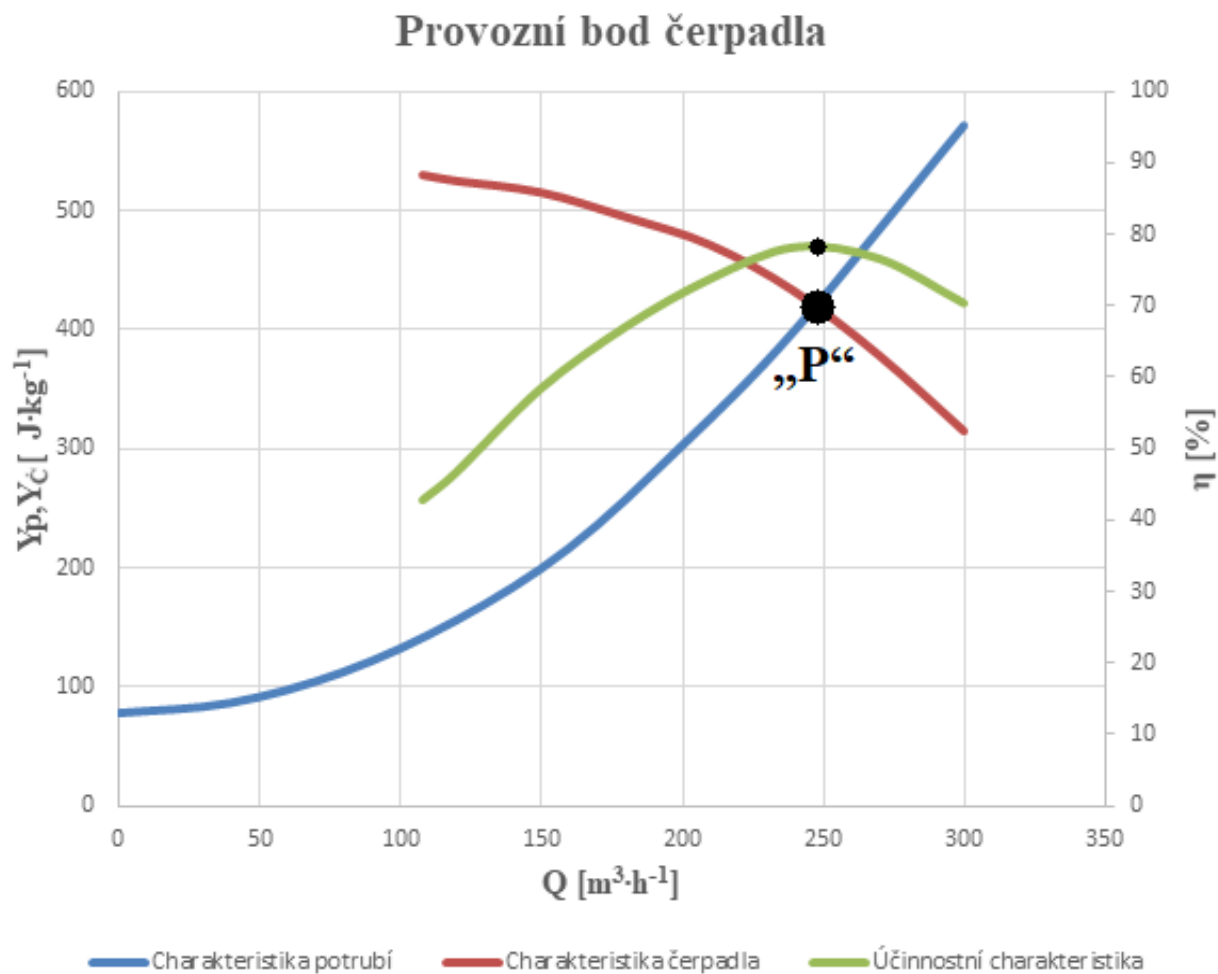
Graf 3 Účinnostní charakteristika čerpadla

Q [m³·h ⁻¹]	η _ξ [%]
108	42,9
120	46,8
150	58,5
180	67,1
210	73,8
240	78,2
270	76,6
300	70,4

Tab. 9 Účinnost čerpadla při různém objemového průtoku

9.2 Provozní bod čerpadla

Jedná se o průsečík „P“ tlakové charakteristiky čerpadla s odporovou charakteristikou potrubí. Odporová charakteristika potrubí a tlaková charakteristika čerpadla je vypočtena na základě zadaných parametrů pro novou potrubní trasu. Poloha provozního bodu udává objemový průtok vody protékající potrubím i zvýšené měrné energie potřebné pro překonání odporu potrubí. Tlaková charakteristika je doplněná o charakteristiku účinnosti a lze tedy určit i tuto veličinu. Maximální účinnost nemusí být v místě provozního bodu.



Graf 4 Provozní bod čerpadla

Z grafu lze vyčíst, že provozní bod čerpadla je při objemovém průtoku $245 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Pro tento průtok musí překonat měrnou energii $420 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ a pracuje s účinností 77 %.

Navrhované čerpadlo je vyhovující pro výhledových $240 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, protože v tomto objemovém průtoku pracuje čerpadlo s účinností 78,2 %. Je vyhovující i pro prvotní navýšení na $180 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, při kterém čerpadlo pracuje s účinností 67,1 %. Regulace objemového průtoku bude prováděna změnou otáček pomocí frekvenčního měniče řídicího otáčky elektromotoru a tím i čerpadla.

10 Vyhodnocení investičních nákladů

Vyhodnocení investičních nákladů pro realizaci jsou rozděleny do dvou samostatných akcí. Tyto akce si bude hradit firma Energoaqua, a. s. z vlastních prostředků.

10.1 Nová potrubní trasa

Pro vyhodnocení investičních nákladů budou porovnány dvě trasy, které vedou do demineralizační stanice. První trasa je stávající a vede z úpravny vod do vodojemů z kterých vede gravitační potrubí do demineralizační stanice. Pro čerpání vody do vodojemů je použito horizontální čerpadlo typu 150 CVE -350 54kW. Nová druhá navržená trasa vede napřímo z úpravny vod do demineralizační stanice. Pro čerpání je použito navržené odstředivé čerpadlo typu NM 100/200BE 37kW.

Výpočet je proveden pro celoroční nepřetržitý provoz. Cena elektrické energie je $2,5 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$.

Vzorový výpočet spotřebované energie z rok

$$\text{Spotřebovaná energie} = \text{Příkon} \cdot \text{čas} \quad (20)$$

$$\text{Spotřebovaná energie} = 54 \cdot 8760$$

$$\text{Spotřebovaná energie} = 473040 \text{ kWh}$$

Vzorový výpočet celkových provozních nákladů za rok

$$\text{Celkové provozní náklady} = \text{spotřebovaná energie} \cdot \text{cena elektrické energie} \quad (21)$$

$$\text{Celkové provozní náklady} = 473040 \cdot 2,5$$

$$\text{Celkové provozní náklady} = 1182600 \text{ Kč}$$

Čerpadlo [Typ]	Příkon [kW]	Čas [h]	Spotřeba energie [kWh]	Celkové provozní náklady [Kč]
150 CVE -350	54	8 760	473 040	1 182 600
NM 100/200BE	37	8 760	324 120	810 300

Tab. 10 Srovnání čerpadel

Z Tab. 10 je patrné, že nově navržené čerpadlo je úspornější a provozní náklady jsou nižší o 372 300 Kč za rok. Tento zisk z provozních nákladů čerpadla určí návratnost nově vybudovaného potrubí.

Cenu nového potrubí, montáže, izolace a výkopových prací mi poskytla firma PIPE SYSTEMS s.r.o. a cena nového čerpadla NM 100/200 BE 37kW je převzata z katalogu od firmy Calpeda. Tyto položky jsou zapsány do *Tab. 11*

Popis položky	Cena [Kč]
Potrubní	475 580
Montáž	939 500
Izolace	376 625
Stavební práce	90 588
NM 100/200 BE	163 708
Součet	2 046 001

Tab. 11 Investice pro realizaci nového potrubí

Výpočet návratnosti investice nového potrubí

$$\text{Návratnost investice} = \frac{\text{Cena nového potrubí}}{\text{Úspora provozních nákladů}} \quad (22)$$

$$\text{Návratnost investice} = \frac{2046001}{372300}$$

$$\text{Návratnost investice} = 5,5 \text{ let}$$

Tato investiční akce bude zaplacená za 5,5 let a z tohoto titulu docházím k závěru, že nová navržená potrubní trasa je rentabilní v optimálním časovém horizontu, dle investiční strategie firmy Energoaqua, a.s.. Po uplynutí této doby bude provoz optimalizován a sníží se náklady na čerpání vody do demineralizační stanice o 372 300 Kč za rok.

10.2 Rozšíření demineralizační stanice

Stávající demineralizační stanice má výrobní kapacitu $120 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a náklady na výrobu 1 m^3 demineralizované vody jsou 80 Kč. Nová autonomní linka je budována na výrobu demineralizované vody o výrobní kapacitě $120 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Demineralizační stanice bude produkovat $180 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ nepřetržitě celý rok. Prodejní cena 1 m^3 demineralizované vody je 110 Kč.

Výpočet množství vyrobené vody za rok

$$\text{Množství vyrobené vody} = \text{počet hodin} \cdot \text{produkce vody} \quad (23)$$

$$\text{Množství vyrobené vody} = 8760 \cdot 180$$

$$\text{Množství vyrobené vody} = 1576800 \text{ m}^3$$

Ceny jednotlivých technologických zařízení poskytla firma VWS MEMSEP s.r.o. a jsou zapsány v následující Tab. 12.

Název	Cena [Kč]
Svíčkový mikrofiltr (5um)	228 600
Pracovní čerpadla reverzní osmózy	280 810
Jednotky reverzní osmózy	9 784 000
UV reaktory 254nm	932 000
Pracovní čerpadla elektrodeionizace	280 810
Jednotky elektrodeionizace	9 598 000
Akumulační nádrž	2 108 000
Pracovní čerpadla UV+MIXBED+UV	280 810
UV reaktory 185nm	5 134 000
Směsné filtry MIXBED	2 219 000
UV reaktor 254nm	932 000
Mikrofiltrace (0,45um)	520 000
Celková cena technologických zařízení	32 298 030

Tab. 12 Celková cena technologických zařízení

Celkové náklady investice jsou 32 298 030 Kč. Tento celkový náklad se promítne do nákladů na výrobu demineralizované vody.

Výpočet nákladů na výrobu 1 m³ demineralizované vody

$$1m^3 = \frac{\text{Celkové náklady investice}}{\text{Množství vyrobené vody}} + \text{cena } 1m^3 \quad (24)$$

$$1m^3 = \frac{32298030}{1576800} + 80$$

$$\mathbf{1m^3 = 100,48 \text{ Kč}}$$

Náklady na výrobu vody za rok

$$\text{Náklady na výrobu vody} = \text{vyrobená voda} \cdot \text{náklady na výrobu } 1m^3 \quad (25)$$

$$\text{Náklady na výrobu vody} = 1576800 \cdot 100,48$$

$$\mathbf{\text{Náklady na výrobu vody} = 158436864 \text{ Kč}}$$

Výnos z prodeje vody za rok

$$\text{Výnos z prodeje vody} = \text{vyrobená voda} \cdot \text{prodejní cena } 1m^3 \quad (26)$$

$$\text{Výnos z prodeje vody} = 1576800 \cdot 110$$

$$\mathbf{\text{Výnos z prodeje vody} = 173448000 \text{ Kč}}$$

Náklady na provoz čerpadel Wilo HELIX V 5203/2–2/16/V/KS/400–50 – 11kW

$$\text{Náklady na provoz čerpadel} = \text{Příkon} \cdot \text{čas} \cdot \text{cena } 1\text{kWh} \cdot \text{počet čerpadel} \quad (27)$$

$$\text{Náklady na provoz čerpadel} = 11 \cdot 8760 \cdot 2,5 \cdot 6$$

$$\text{Náklady na provoz čerpadel} = \mathbf{1445400 \text{ Kč}}$$

Zisk z prodeje vody za rok

$$\text{Zisk} = \text{Výnos z prodeje} - \text{Náklady na výrobu} - \text{Náklady na provoz čerpadel} \quad (28)$$

$$\text{Zisk} = 173448000 - 158436864 - 1445400$$

$$\text{Zisk} = \mathbf{13565736 \text{ Kč}}$$

Pro přehlednost jsou vypočtené hodnoty zapsány do Tab. 13

Název	Hodnota	Jednotka
Množství vyrobené vody	1 576 800	m ³
Náklady na výrobu vody	158 436 864	Kč
Náklady na provoz čerpadel	1 445 400	Kč
Výnos z prodeje vody	173 448 000	Kč
Zisk z prodeje vody	13 565 736	Kč

Tab. 13 Zisk z prodeje demineralizované vody 1

Výpočet návratnosti investice do technologických zařízení

$$\text{Návratnost investice} = \frac{\text{Celkové náklady investice}}{\text{Zisk z prodeje vody}} \quad (29)$$

$$\text{Návratnost investice} = \frac{32298030}{13565736}$$

$$\text{Návratnost investice} = \mathbf{2,4 \text{ let}}$$

Zisk z prodeje demineralizované vody po splacení investice. Náklady na výrobu 1 m³ jsou 80Kč. Výpočet je proveden podle vztahu (25), (26), (27), (28) a výsledky jsou zapsány v Tab. 14.

Název	Hodnota	Jednotka
Množství vyrobené vody	1 576 800	m ³
Náklady na výrobu vody	126 144 000	Kč
Náklady na provoz čerpadel	1 445 400	Kč
Výnos z prodeje vody	173 448 000	Kč
Zisk z prodeje vody	45 858 600	Kč

Tab. 14 Zisk z prodeje demineralizované vody 2

Tato investiční akce bude zaplacená za 2,4 let. Z tohoto titulu docházím k závěru, že investice je rentabilní a firma Energoaqua, a.s. bude za velmi krátký časový horizont profitovat z rozšíření výrobních kapacit demineralizační stanice. Po zaplacení této investice bude mít firma zisk z prodeje demineralizované vody 45 858 600 Kč.

11 Závěr

Cílem diplomové práce bylo popsat možnosti přípravy vody v závislosti na požadované kvalitě. Popis současného stavu přípravy a dodávky demineralizované vody do technologické sítě. Zpracovat návrh pro přípravu zvýšeného množství demineralizované vody. Vytvoření dokumentace nové potrubní trasy zahrnující hydraulický výpočet s volbou vhodného čerpadla, včetně energetických charakteristik. Vyhodnocení investičních nákladů nutných pro realizaci navržené varianty.

V první části práce je popsáno jak se předupravuje voda, co to je ionexová demineralizace a jaké se používají membránové procesy. Následně popisují jak firma Energoaqua, a.s. upravuje surovou vodu z řeky Bečvy pomocí vlastní úpravní vod na vodu odpovídající kvalitou pitné vody, a dále jak upravuje pitnou vodu ve vlastní demineralizační stanici na demineralizovanou vodu, kterou dodává do technologické sítě v bývalém průmyslovém areálu Tesla Rožnov pod Radhoštěm.

V druhé části práce byla naprojektována nová potrubní trasa. Tato nová potrubní trasa vede napřímo z úpravní do demineralizační stanice a vyřešila dopravu požadovaného množství pro výrobu. Původní potrubní trasa, která vedla z úpravní výtlačným potrubím na vodojemy, a následně gravitačním potrubím do demineralizační stanice, je nevyhovující. K potrubním trasám byla vytvořena výkresová dokumentace s označením STA0350-01 a STA0350-02. Na novou potrubní trasu byl proveden hydraulický výpočet. Z vypočítané dopravní výšky 40,7m a požadovaného dopravního množství $240 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ bylo zvoleno odstředivé čerpadlo typu NM 100/200BE 400V 37kW 2900ot.. Pro ověření správnosti zvoleného čerpadla byly vytvořeny energetické charakteristiky, ze kterých byl stanoven provozní bod. Čerpadlo v provozním bodu pracuje při objemovém průtoku $245 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ s účinností 77 % z čehož vyplývá, že čerpadlo je správně zvolené. Dále je naprojektováno rozšíření výrobních kapacit demineralizační stanice z původní produkce $120 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na produkci $240 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ demineralizované vody. Rozšíření demineralizační stanice je řešeno novou autonomní technologickou linkou o produkci $120 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Pro stávající linku bylo vytvořené blokové schéma technologické linky, které je zakreslené graficky na výkrese STA0350-03 a nové blokové schéma rozšířené technologické linky je graficky zpracováno na výkrese STA0350-04.

V závěru práce je vyhodnocení investičních nákladu pro realizaci nové potrubní trasy a rozšíření výrobních kapacit demineralizační stanice. Celkové investiční náklady na realizaci nového potrubí s montáží, izolací a stavebních prací včetně nového čerpadla jsou

2 046 001 Kč. Nové čerpadlo má nižší provozní náklady o 372 300 Kč za rok než čerpadlo, které čerpá vodu na vodojemy. Z této úspory je vypočítána návratnost celkové investiční akce a bude zaplacená za 5,5 let. Investiční akce je pro firmu přínosná, protože po uplynutí této doby firma sníží své provozní náklady na úpravě vod o 372 300 Kč ročně. Celkové investiční náklady pro realizaci rozšíření výrobních kapacit demineralizované vody jsou 32 298 030 Kč. Zisk z prodeje demineralizované vody je 13 565 736 Kč za rok. Návratnost této investiční akce je za 2,4 let a pro firmu je tak krátká doba velmi pozitivní, protože po zaplacení této investiční akce vzroste firmě zisk z prodeje demineralizované vody na 45 858 600 Kč za rok.

Seznam použité literatury

Tištěné zdroje

- [1] HÜBNER, Pavel. *Úprava vody v energetice*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 978-80-7080-746-0.
- [2] KYSELA, Ladislav a Jiří TOMČALA. *Vodní hospodářství v energetice*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2000. ISBN 80-7078-752-X.
- [3] KUČEROVÁ, Radmila, Peter FEČKO a Barbora LYČKOVÁ. *Úprava a čištění vody*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2389-8.
- [4] DRÁBKOVÁ, Sylva. *Mechanika tekutin* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008] [cit. 2019-03-27]. ISBN 978-80-248-1508-4.
- [5] NOVÝ, Richard. *Technika prostředí*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-03492-5.
- [6] HÜBNER, Pavel. *Úprava vody v energetice: Pavel Hübner. 2., přeprac. a rozš. vyd.* Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-70-80-873-3.
- [7] HÜBNER, Pavel. *Úprava vody pro průmyslové účely*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-624-9.
- [8] VAVRO, Karol. *Tok tekutin v potrubných systémech*. V Bratislave: Vydavateľstvo STU, 2004. Edícia monografií. ISBN 80-227-2018-6.

Elektronické zdroje

- [9] Calpeda, *Průmyslová čerpadla* [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <<https://www.pumpy-cerpadla.cz/files/calpeda-nm.pdf>>.
- [10] Vodovod, *Drsnost potrubí* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <<http://www.vodovod.info/index.php/tabulky/196-drsnost-potrubu#.XKdFxZgzaUI>>.
- [11] Converter, *Viskozita vody* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <<http://www.converter.cz/tabulky/viskozita-vody.htm>>.
- [12] Calpeda, *Průmyslová čerpadla* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <<https://www.pumpy-cerpadla.cz/prumyslova-cerpadla/monoblokova-odstrediva-cerpadla-calpeda-nm-s-prirubovymi-hrdly>>.
- [13] Vypočítej to, *Spotřeba elektřiny* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <<https://www.vypocitejto.cz/energie/spotreba-elektřiny.html>>.
- [14] Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, *Skripta* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <<http://www.338.vsb.cz/wp-content/uploads/2016/03/Janalik-Vybranekapitolyzmechanikytekutin.pdf>>.
- [15] Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, *Skripta* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <<http://www.338.vsb.cz/wp-content/uploads/2016/03/JanalikStava-MechanikaTekutin.pdf>>.

Seznam obrázků, tabulek, grafů a příloh

Obrázky

<i>Obr. 1 Velikost jednotlivých částic ve vodě a metody jejich přímého odstraňování</i>	12
<i>Obr. 2 Velikost jednotlivých částic ve vodě a metody jejich přímého odstraňování</i>	13
<i>Obr. 3 Regenerace Mixbedu</i>	16
<i>Obr. 4 Princip reverzní osmózy</i>	17
<i>Obr. 5 Princip spirálně vinutého modulu</i>	18
<i>Obr. 6 Princip elektrideionizace</i>	19
<i>Obr. 7 Schéma úpravny vody o výkonu $120 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$</i>	20
<i>Obr. 8 Schéma demineralizační stanice o výkonu $3\cdot 55 \text{ m}^3$</i>	24
<i>Obr. 9 Tlakový spád v potrubí</i>	33
<i>Obr. 10 Rychlostní profil v potrubí</i>	34
<i>Obr. 11 Absolutní drsnost materiálu potrubí</i>	35
<i>Obr. 12 Schéma jednoho potrubního úseku</i>	37
<i>Obr. 13 Produktový list čerpadel Calpeda NM</i>	40
<i>Obr. 14 Produktový list čerpadel Calpeda NM</i>	41

Tabulky

<i>Tab. 1 Stupně reversní osmózy</i>	26
<i>Tab. 2 Kvalitativní parametry demineralizované vody</i>	29
<i>Tab. 3 Seznam technologických zařízení</i>	31
<i>Tab. 4 Zadané hodnoty pro výpočet</i>	32
<i>Tab. 5 Závislost měrné energie kapaliny v potrubí na objemovém průtoku</i>	39
<i>Tab. 6 Parametry čerpadla</i>	41
<i>Tab. 7 Vypočtené parametry čerpadla</i>	42
<i>Tab. 8 Závislost měrné energie čerpadla na objemovém průtoku</i>	43
<i>Tab. 9 Účinnost čerpadla při různém objemovém průtoku</i>	44
<i>Tab. 10 Srovnání čerpadel</i>	46
<i>Tab. 11 Investice pro realizaci nového potrubí</i>	47
<i>Tab. 12 Celková cena technologických zařízení</i>	48
<i>Tab. 13 Zisk z prodeje demineralizované vody 1</i>	49
<i>Tab. 14 Zisk z prodeje demineralizované vody 2</i>	49

Grafy

<i>Graf 1 Odporová charakteristika potrubí.....</i>	<i>39</i>
<i>Graf 2 Tlaková charakteristika čerpadla.....</i>	<i>43</i>
<i>Graf 3 Účinnostní charakteristika čerpadla</i>	<i>44</i>
<i>Graf 4 Provozní bod čerpadla</i>	<i>45</i>

Přílohy

Výkres 1 - STA0350-01

Výkres 2 - STA0350-02

Výkres 3 - STA0350-03

Výkres 4 - STA0350-03